

Universität Zürich  
Zentrum für Zahnmedizin  
Klinik für Präventivzahnmedizin, Parodontologie und Kariologie  
Direktor: Prof. Dr. med. dent. T. Attin

---

Arbeit unter Leitung von PD Dr. med. dent. A. Wiegand

**Härte- und Farbveränderungen durch externes  
Bleichen –  
Eine In-situ-Studie zum Vergleich von bovinem und  
humanem Schmelz**

**INAUGURAL-DISSERTATION**

zur Erlangung der Doktorwürde der Zahnmedizin  
der Medizinischen Fakultät  
der Universität Zürich

vorgelegt von  
Barbara Martina Säuberli  
von St.Moritz GR

Genehmigt auf Antrag von Prof. Dr. med. dent. T. Attin

Zürich 2012

Meinen Eltern gewidmet

## Inhaltsverzeichnis

<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>5</b>
<b>1. EINLEITUNG UND ZIEL .....</b>	<b>7</b>
<b>2. LITERATURÜBERSICHT .....</b>	<b>9</b>
<b>2.1. Anatomie der Zahnschubstanzen .....</b>	<b>9</b>
2.1.1. Zahnschmelz .....	9
2.1.2. Dentin .....	10
<b>2.2. Zahnverfärbungen .....</b>	<b>13</b>
2.2.1. Ursachen .....	13
2.2.2. Bleichverfahren .....	15
2.2.3. Wirkstoffe .....	17
<b>2.3. Farbmessung und Beurteilung .....</b>	<b>20</b>
2.3.1. Visuelle Farbmessung.....	21
2.3.2. Instrumentelle Farbmessung.....	22
<b>2.4. Härtemessung.....</b>	<b>24</b>
<b>2.5. Fragestellung .....</b>	<b>25</b>
<b>3. VERSUCHSPLANUNG .....</b>	<b>27</b>
<b>4. MATERIAL UND METHODE .....</b>	<b>28</b>
<b>4.1. Versuchsvorbereitung .....</b>	<b>28</b>
4.1.1. Herstellung der Schmelzproben.....	28
4.1.2. Probanden.....	29
4.1.3. Herstellung der Trägerschienen.....	29
<b>4.2. Versuchsdurchführung.....</b>	<b>31</b>
4.2.1. Härtemessung.....	32
4.2.2. Farbbestimmung .....	34
4.2.3. Statistische Auswertung.....	35
<b>5. ERGEBNISSE .....</b>	<b>36</b>

---

5.1.	Humane Schmelzproben.....	36
5.2.	Bovine Schmelzproben.....	41
5.3.	Vergleich bovine und humane Schmelzproben .....	46
6.	DISKUSSION .....	49
6.1.	Diskussion der Methode .....	49
6.2.	Diskussion der Ergebnisse .....	53
6.3.	Schlussfolgerung .....	58
7.	LITERATURVERZEICHNIS .....	59
8.	CURRICULUM VITAE.....	73

---

## Zusammenfassung

Ziel dieser In-situ-Studie war es, die Härte- und Farbänderung von bovinen und humanen Schmelzproben durch externes Bleichen zu untersuchen und miteinander zu vergleichen.

Methode: Je drei humane und drei bovine Schmelzproben wurden randomisiert auf zehn Probanden verteilt. Die Proben wurden in Trägerschienen fixiert und an fünf aufeinanderfolgenden Tagen für je acht Stunden intraoral gebleicht. Die Trägerschienen bestanden aus einem zweiteiligen Schienensystem. Die erste Schiene diente zur Fixierung der Proben, während die zweite Schiene als Reservoir und Abdeckung für das Bleichgel diente und über die erste Schiene gezogen wurde. Während der intraoralen Tragedauer wurden die Proben mit einem 10%-igen Carbamidperoxid-Gel gebleicht. Zwischen den Untersuchungszyklen wurden die Proben für 16 h extraoral feucht gelagert. Nach den Basismessungen der Härte (Knoop) und Farbe (CIE-  $L^*a^*b^*$ ) zum Zeitpunkt  $t = 0$  h wurden die Messungen zu den Zeitpunkten  $t = 24$  h, 48 h, 72 h, 96 h und 120 h wiederholt. Für die statistische Auswertung der Daten kamen lineare gemischte Modelle (linear mixed models) zum Einsatz. Die Wahl der Modelle wurde mit AIC (Akaike Information Criterion) und BIC (Bayesian Information Criterion) durchgeführt.

Ergebnisse: Sowohl bei den humanen als auch bei den bovinen Schmelzproben führte das Bleichverfahren im Verlauf der Zeit zu einer signifikanten Aufhellung und zu einer Härtereduktion im Vergleich zu den Basismessungen. Die humanen Proben (337.2 KHN) waren zum Zeitpunkt  $t = 0$  h statistisch signifikant härter als bovine Proben (306.3 KHN), jedoch war die Härtereduktion nicht signifikant unterschiedlich (humane: -24.8 KHN, bovine: -20.6 KHN zum Zeitpunkt  $t = 120$  h). Hinsichtlich der

---

Farbe waren bovine Proben ( $L = 56.4$ ) zum Zeitpunkt  $t = 0$  h signifikant heller als humane Proben ( $L = 49.2$ ), jedoch war die Farbänderung über die Beobachtungszeit bei den Proben nicht signifikant unterschiedlich. Obwohl die Basis-Härte und -Farbe von bovinem und humanem Schmelz leichte Unterschiede aufwiesen, war die Härte- und Farbveränderung nicht signifikant unterschiedlich.

Schlussfolgerung: Bleichen mit 10%-igem Carbamidperoxid führt bei humanen und bovinen Schmelzproben zu vergleichbaren Härte- und Farbveränderungen.

## 1. Einleitung und Ziel

Aufgrund unterschiedlicher Ursachen kann sich die natürliche Zahnfarbe verändern, wobei externe von internen Zahnverfärbungen unterschieden werden. Externe Zahnverfärbungen treten posteruptiv auf und stellen Auflagerungen dar, die durch verschiedene Ursachen wie z.B. Bakterien, Nahrungsmittel oder Medikamente hervorgerufen werden. Interne Zahnverfärbungen können präeruptiv oder posteruptiv auftreten. Beispiele für interne Verfärbungen sind Mineralisationsstörungen, Einlagerung von Farbstoffen oder Traumata.

Zur Behandlung intrinsischer Verfärbungen kommen Aufhellungstherapien in Betracht, bei denen die Zähne durch das Auftragen eines chemisch aktiven Produktes gebleicht werden. Das Bleichen stellt eine Alternative zu den invasiveren restaurativen Versorgungsmöglichkeiten wie Kompositrestaurationen, Veneers oder Kronen dar. Grundsätzlich kann man zwischen internen und externen Bleichverfahren unterscheiden. Das interne Bleichen kommt zur Aufhellung von devitalen, wurzelbehandelten Zähnen in Betracht, während vitale Zähne extern gebleicht werden. Als Bleichmittel kommen Wasserstoffperoxid oder  $\text{H}_2\text{O}_2$ -abspaltende Präparate, wie z.B. Carbamidperoxid oder Natriumperborat zum Einsatz (Hellwig et al. 2007). Beim internen Bleichen wird das Bleichmittel direkt in das koronale Pulpakavum appliziert. Für das externe Bleichen wird Wasserstoffperoxid oder Carbamidperoxid in Form von Gelen, Folien oder Lacken auf die Zähne aufgetragen (Attin 2009).

Viele Studien zur Effektivität von Aufhellungstherapien werden aufgrund des ähnlichen strukturellen und chemischen Aufbaus von humanem und bovinem Schmelz (Esser et al. 1998) mit bovinen Proben durchgeführt. So wurden z.B. der

---

Einfluss von Kaffeelösung auf die Zahnfarbe während des Bleichens (Attia et al. 2009), Tests mit aufhellender Zahnpasta (Joiner et al. 2008) oder die Effizienz chemischer Aktivierung des Bleichmittels (Travassos et al. 2010) mit bovinen Proben getestet. In den Studien von Attin et al. (2003) über den Einfluss von Tee auf die Farbe von vorgängig gebleichtem Schmelz, Magalhães et al. (2012) über die Mikrohärteveränderung von Schmelz durch Bleichagenzien mit unterschiedlichen Säurewerten, Borges et al. (2011) mit dem Effekt auf die Mikrohärte des Schmelzes mit CPP-ACP modifiziertem Carbamidperoxid, Gomes et al. (2009) mit dem Effekt von Lichtexposition im Zusammenhang mit Wasserstoffperoxid auf Farb- und Härtewerte und Chen et al. (2008) mit dem Effekt von fluoridhaltigen Bleichagenzien auf die Schmelzoberflächeneigenschaften wurden ebenfalls bovine Proben verwendet. Bislang ist jedoch noch nicht ausreichend untersucht worden, ob sich bovine Zahnproben hinsichtlich der Härte- und Farbveränderungen mit humanen Zahnhartsubstanzen vergleichen lassen.

Das Ziel der vorliegenden Studie war es, die Härte- und Farbveränderung von bovinen und humanen Schmelzproben durch Bleichen mit 10%-igem Carbamidperoxid zu untersuchen und miteinander zu vergleichen.

---



## 2. Literaturübersicht

### 2.1. Anatomie der Zahnschmelzen

#### 2.1.1. Zahnschmelz

Der Zahnschmelz ist das härteste Material des menschlichen Körpers. In der Knoop-Härte-Skala befindet sich der Wert zwischen 260 - 360 Knoop Hardness Number (KHN) (Schemel 1984). Schmelz besteht vorwiegend (95%) aus den anorganischen Bestandteilen Kalzium, Phosphor, Karbonat, Magnesium, Natrium und einigen Spurenelementen. Kalzium und Phosphor liegen in einem Verhältnis von 1 : 1.2 als Apatitverbindungen in Form von kleinen Kristallen vor (Hellwig et al. 2007). Der restliche Teil setzt sich aus 1% organischen Bestandteilen wie Proteinen, Lipiden, Kohlenhydraten, Zitraten und Laktaten und 4% Wasser zusammen (Schroeder 2000).

Diese Bausteine bilden die Grundlage für den komplexen Aufbau des Zahnschmelzes. Die Apatitkristalle besitzen die Form von kleinen Stäbchen, welche im Querschnitt eine hexagonale Fläche aufweisen. Diese Stäbchen bilden in Gruppen aneinander gelagert die Schmelzprismen. Eine Gruppe von ungefähr 100 Stäbchen bildet einen Prismenstab (Hellwig et al. 2007). Dieser verläuft in gewellter Form von der Schmelz-Dentin-Grenze bis knapp zur Oberfläche des Zahnes. Die oberste Schicht besteht aus einer prismenfreien Schmelzschicht. Prismenstäbe können in drei verschiedenen Verbänden angeordnet sein. Sie erscheinen im Querschnitt als Schlüsselloch-Typ, Hufeisen-Typ oder zylindrischer-Typ (Höhling 1966). Um die Prismen herum befindet sich der zwischenprismatische Schmelz. Er

---

besteht auch aus Hydroxyapatit-Kristallen, jedoch sind diese nicht zu Prismen angeordnet, sondern liegen ungeordnet meist im 90°-Winkel zu diesen.

Aufgrund dieser verschiedenen Anordnungen der Schmelzprismen können histologisch einige Besonderheiten beschrieben werden. Die Hunter-Schreger-Faserstreifung tritt aufgrund der unterschiedlichen Verlaufsform der Schmelzprismen in den inneren zwei Drittel des Schmelzes, horizontal wie auch vertikal, in Zahnschliffen auf (Hunter 1771). Durch den gesamten Schmelz hindurch sind die Wachstumslinien des Zahnes, die sogenannten Retziusstreifen, vorhanden. Sie verlaufen von der Schmelz-Dentin-Grenze bis zur Schmelzoberfläche in okklusaler Richtung und erscheinen in Querschnitten wie konzentrische Kreise (Retzius 1837). In Längsschnitten von jugendlichen Zähnen sind zudem Perikymatien sichtbar. Diese sind Einziehungen, welche jeweils dem Schnittpunkt eines Retziusstreifens mit der Schmelzoberfläche entsprechen. Im Alter verschwinden diese Einziehungen mehr und mehr durch Attrition (Gustafson 1950).

### **2.1.2. Dentin**

Die natürliche Zahnfarbe wird hauptsächlich von den Farbpigmenten im Dentin bestimmt (Attin 2007). Anteilsmässig beschreibt das Dentin die grösste Masse des Zahnes. Das Dentin umgibt die Pulpa und wird koronal vom Schmelz, apikal vom Zement bedeckt. Im Gegensatz zum Schmelz ist das Dentin nicht nur ein Zellprodukt, sondern enthält auch Zellen (Odontoblasten). Odontoblasten sind Bindegewebszellen, welche das Dentin bilden und versorgen (Schroeder 2000). Das Dentin ist aus einem organischen Anteil (20 Gew.%) mit vorwiegend kollagenen Verbindungen und aus einem anorganischen Teil (70 Gew.%), überwiegend bestehend aus Phosphat und Kalzium aufgebaut (Hellwig et al. 2007, Schroeder

---

2000). Die übrigen 10 Gew.% stellen Wasser und einige Spurenelemente dar. Die kollagenen Verbindungen im organischen Teil bestehen fast ausschliesslich aus Kollagen Typ I und wenig Kollagen Typ V (<3%) (Butler 1984). Der anorganische Anteil des Dentins besteht ebenfalls aus Apatit, jedoch sind dessen Kristalle viel kleiner und kürzer als diejenigen im Schmelz. Sie sind nicht in Prismen angeordnet, sondern liegen ungeordnet nebeneinander. Daraus folgt, dass das Dentin viel poröser und weicher ist als der Schmelz (Hellwig et al. 2007, Schroeder 2000).

Die Fortsätze der Odontoblasten durchziehen das Dentin durch die Dentintubuli. Das Dentin ist aus unterschiedlichen Dentinschichten aufgebaut. Direkt der Pulpa aufliegend befindet sich das unmineralisierte Prädentin, welches in dieser Form noch nicht mineralisiert werden kann, sondern dafür erst umgewandelt werden muss. Das Zwischendentin beschreibt das Dentin in den verschiedenen Reifungsstadien bis zum zirkumpulpalen Dentin. Je nach Lage zum Odontoblastenfortsatz wird das Dentin ab dem zirkumpulpalen Dentin in ein peritubuläres, sehr stark mineralisiertes und in ein intertubuläres, weniger stark mineralisiertes Dentin aufgeteilt. Es konnte gezeigt werden, dass das koronale peritubuläre Dentin bis zu 9% stärker mineralisiert ist als das intertubuläre Dentin (Miller 1971). Die äusserste Schicht beschreibt das im Vergleich zum zirkumpulpalen Dentin weniger mineralisierte Manteldentin, in welchem sich die Odontoblastenfortsätze stark verzweigen. Über die Odontoblastenfortsätze wird lebenslang peritubuläres Dentin gebildet. Dies kann bis zum vollständigen Verschluss der Dentinkanäle führen (Schroeder 2000).

Histologisch weist das Dentin folgende spezielle Strukturmerkmale auf: Ebnersche Linien, Owensche Linien und die Neonatallinie. Bei der Bildung des zirkumpulpalen Dentins entstehen die sogenannten Ebnerschen Linien. Diese Wachstumslinien sind hypomineralisiert und dadurch in histologischen Schnitten besser erkennbar. Sie

---

beschreiben die Ruhephase bei der Dentinbildung (Ebner 1906). Breitere und schwächer mineralisierte Wachstumslinien, die durch verminderte Tätigkeit der Odontoblasten hervorgerufen werden, erlauben Rückschlüsse auf die Allgemeingesundheit des Kindes während der Dentinbildung und werden Owen Linien genannt. Je nach Anzahl und Dauer der Störungen variieren sie in Zahl und Breite. Sie sind durch ihre Hypomineralisation gekennzeichnet (Owen 1840). Eine spezielle hypomineralisierte Wachstumslinie beschreibt die Neonatallinie an den Milchzähnen und ersten Molaren. Diese entspricht einer Ruhephase während der Zahnhartsubstanzbildung von ungefähr 15 Tagen (Massler und Schour 1946).

---

## 2.2. Zahnverfärbungen

### 2.2.1. Ursachen

Eine Zahnverfärbung ist eine Veränderung der natürlichen Farbe des Zahnes. Die frisch durchbrechende Zahnkrone eines bleibenden Zahnes weist eine weisslich-gelbe Farbe auf (Schroeder 2000). Je nach Individuum kann die Farbe auch weisslich-gräulich oder weisslich-rötlich scheinen. Die Dicke und Transluzenz des Schmelzes, die Dicke und Farbe des Dentins und die Grösse und Farbe der Pulpa haben Einfluss auf die individuelle Zahnfarbe (Schroeder 2000). Durch verschiedene externe und interne Einflüsse kann die ursprüngliche Farbe verändert werden. Diese Verfärbungen können erworben oder angeboren sein.

Es gibt einige Zahnverfärbungen, welche ihre Ursache in veränderten Strukturen und Dimensionen der Zahnhartsubstanzen haben. Im Alter nimmt die Dicke des Dentins zu und das Pulpenkavum verliert an Grösse. Der Zahn wirkt durch diese Umwandlung dunkler (Schroeder 2000). Diese vermehrte Bildung von Sekundärdentin und das auf Reiz gebildete Tertiärdentin führen zu einer dunkelgelb bis bräunlichen Verfärbung. Durch Abrasion, Attrition und Erosion verliert der Zahn an Schmelzdicke und wirkt gelblicher. Farbstoffe können durch den Schmelz von innen nach aussen (Blutbestandteile, Füllungsmaterialien) und von aussen nach innen (Rauchen, Ernährung) gelangen.

Fluorotische Veränderungen können durch eine zu hoch dosierte Fluoridabgabe hervorgerufen werden. Die tägliche Zufuhr von 0.07 mg Fluorid pro kg Körpergewicht gilt als Grenzwert für die Entwicklung einer Fluorose (van Waes und Stöckli 2001). Bei einer Fluorose ist die Ameloblastenschicht geschädigt, woraus ein hypomineralisierter und poröser Schmelz mit einer desorientierten Kristallstruktur

---

entsteht. Der Schmelz erscheint an den betroffenen Stellen weisslich-opak oder bräunlich (Schroeder 2000).

Schmelzhypomaturationen aufgrund von Traumata während der Zahnentwicklung können zu leichten Verfärbungen bis hin zu Formdefekten der betroffenen Zähne führen (Hellwig et al. 2007).

Weitere Verfärbungen können durch Einlagerung von Farbstoffen hervorgerufen werden, welche exogener oder endogener Natur sind und sowie prä- als auch posteruptiv auftreten können. Präeruptiv sind Verfärbungen durch Medikamente, wie z. B. Tetrazykline bekannt. Zwischen Tetrazyklinen und Kalzium kommt es zu einer Komplexbildung. Falls diese Komplexbildung während der Zahnhartsubstanzbildung stattfindet, werden diese in die Zahnhartsubstanz eingelagert. Aufgrund der unterschiedlichen chemischen Struktur der Komplexe verändert sich die Lichtbrechung und der Zahn erscheint an den betroffenen Stellen dunkler. Die Anwendung von Tetrazyklinen ist daher bei Schwangeren und Kindern bis zum Abschluss der Kronenbildung der zweiten Molaren (8. Lebensjahr) kontraindiziert (Tredwin et al. 2005). Bei prä- oder posteruptiven Traumata können Diffusion und Einlagerung von Blutbestandteilen zu bräunlich-rötlich-schwärzlichen Verfärbungen führen. Das beim Blutabbau freigesetzte Eisen spielt dabei eine wichtige Rolle. Es kann sich mit dem von Bakterien freigesetzten Schwefelwasserstoff verbinden und bildet so Eisensulfid-Verbindungen, welche eine gräuliche Verfärbung der Zähne hervorrufen können (Horn 2003). Die Einlagerung solcher Protein-Abbauprodukte, wie z.B. Eisen, führt auch bei einer nekrotischen Pulpa oder bei im Kavum verbliebenen Pulparesten in Folge einer Wurzelbehandlung zu einer Graufärbung des Zahnes (Kielbassa et al. 2000). Allgemeinerkrankungen, wie z.B. neonatale Hepatitis, kongenitale erithropoetische Porphyrie oder verschiedene Anämieformen

---

können bräunlich-rötlich-schwärzliche Verfärbungen hervorrufen. Die Ursache ist die Einlagerung von Bilirubin, ausgelöst durch frühzeitigen Zerfall von Erythrozyten, oder die Anhäufung des Häm-Vorläuferstoffes Uroporphyrinogen I. Interne- und externe Granulome können den Zahn posteruptiv durch die Abnahme der Dentindicke durch Resorptionsvorgänge rosa erscheinen lassen (Hellwig et al. 2007, Heithersay 1999).

Pigmente von Füllmaterialien können sich in die Dentintubuli einlagern und so zu einer Verfärbung führen. Bei einer Wurzelbehandlung ist deshalb darauf zu achten, dass keine Wurzelfüllmaterialien im Pulpakavum verbleiben (van der Burgt 1986). Auch andere Füllmaterialien, z.B. Amalgam oder Silberstifte, können aufgrund von Korrosionsprodukten Verfärbungen hervorrufen (Scholtanus et al. 2009).

Bei genetischen Fehlbildungen, wie zum Beispiel Amelogenesis imperfekta oder Dentinogenesis imperfekta, radikulärer Dentindysplasie oder hereditär opaleszierendem Dentin, verliert der Zahn seine Opazität, wirkt transluzent und hat eine bläulich-gräulich-rötliche Verfärbung (Schroeder 2000). Externe Farbauflagerungen treten meist aufgrund von Lebensmittelbestandteilen, Tabakwaren oder Medikamenten auf und sind, sofern sie sich nicht in das freiliegende Dentin oder den porösen Schmelz eingelagert haben, durch einfache Prophylaxe wieder entfernbar und bedürfen keiner Bleichtherapie (Attin 2009).

### **2.2.2. Bleichverfahren**

Zum Bleichen von intrinsischen Verfärbungen werden verschiedene interne oder externe Verfahren angeboten. Ein externes Bleichen kann sowohl bei vitalen als auch devitalen Zähnen durchgeführt werden. Internes Bleichen ist nur bei devitalen Zähnen indiziert.

---

### **Externes Bleichen**

Das externe Bleichen wird vorwiegend bei vitalen Zähnen angewendet, kann jedoch auch unterstützend zu einem internen Bleichen eingesetzt werden. Es werden drei verschiedene Arten des externen Bleichens unterschieden. Beim „homebleaching“ wird meist 10 - 15%-iges Carbamidperoxid-Gel verwendet, welches mithilfe einer individuell angepassten Schiene auf die Zähne appliziert wird (Haywood 1997, Attin 1998). Die Schiene kann stundenweise oder über Nacht getragen werden. Alternativ können auch sogenannte „over the counter“ Produkte eingesetzt werden, wie konfektionierte Schienen oder Folien, die niedriger konzentrierte Bleichmittel (5 - 10%  $\text{H}_2\text{O}_2$ ) enthalten (Wiegand et al. 2008). Vorteile dieser Applikationstechniken sind die niedrige Wirkstoffkonzentration, die einfache Handhabung und das gut kontrollierbare Bleichen von einzelnen Zähnen (Ziebolz et al. 2008). Bei dem „in office“ oder „chairside“ Bleaching wird das Bleichen in der Zahnarztpraxis mithilfe von hochkonzentriertem  $\text{H}_2\text{O}_2$  (30 - 40%) durchgeführt.

### **Internes Bleichen**

Bei der sogenannten „walking-bleach“-Technik wird eine Mischung aus Natriumperborat und Wasser bzw. 3 - 30%  $\text{H}_2\text{O}_2$  in das Pulpakavum des zu bleichenden Zahnes appliziert. Diese Mischung spaltet  $\text{H}_2\text{O}_2$  ab, welches wiederum Radikale ( $\text{H}^\cdot$ ;  $\text{O}^\cdot$ ;  $\text{OH}^\cdot$ ;  $\text{HO}_2^\cdot$ ;  $\text{OOH}^-$  oder  $\text{OH}^-$ ) bildet, die über Oxidations- und Reduktionsvorgänge die Chromogene in farblose Moleküle spalten. Das Anmischen des Natriumperborates mit 3 - 30%  $\text{H}_2\text{O}_2$  erhöht jedoch weder die Wirksamkeit des Bleichens noch die Farbstabilität des Bleichergebnisses (Rotstein et al. 1991, Weiger et al. 1994, Rotstein et al. 1993).

---

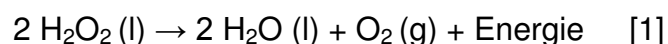


Bei der Applikation des Bleichmittels soll eine zur Wurzelfüllung hin dichte Füllung ein Diffundieren der Substanzen nach apikal verhindern und so das Risiko einer Wurzelresorption minimieren (Smith et al. 1992). Für diesen Abschluss muss ein dicht verschliessendes Material (Komposit, herkömmliche Glasionomerezemente) gewählt werden (Barthel et al. 1999, de Oliveira et al. 2003). Die Wurzelfüllung muss bis zu 2 - 3mm unter die Schmelz-Zement-Grenze reduziert werden. Das Bleichmittel kann somit bis unterhalb des Gingivaniveaus appliziert werden, um den Zahn auch in diesem Bereich zu bleichen. Nach der Applikation des Bleichmittels in das Kavum ist eine dichte provisorische Füllung zur Abdeckung notwendig. Idealerweise wird eine provisorische adhäsive Versorgung mit Komposit oder Kompomer appliziert (Attin 2009). Nach 5 - 7 Tagen folgt eine Beurteilung des Resultates, und bei Bedarf kann der Vorgang bis zum gewünschten Resultat wiederholt werden. Ein definitiver Verschluss der Kavität mit einem Komposit sollte erst 2 - 3 Wochen nach der letzten Einlage stattfinden, da die Haftkraft des Adhäsivsystems durch die Peroxid- und Sauerstoffrückstände reduziert ist.

### 2.2.3. Wirkstoffe

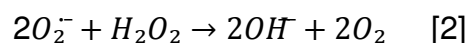
Beim Bleichen werden heute vorwiegend Wasserstoffperoxid ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), Natriumperborat und Carbamidperoxid als aktive Substanzen verwendet.

Wasserstoffperoxid ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) ist ein starker Radikalbildner. Die beiden Sauerstoffmoleküle sind durch ein gemeinsames Elektronenpaar miteinander verbunden und stellen die Peroxygruppe dar. Da die Peroxygruppe sehr instabil ist, zerfällt Wasserstoffperoxid in einer exothermen Reaktion [1] zu Wasser und Sauerstoff:

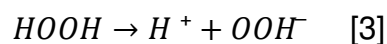


Beim Bleichverfahren macht man sich die Zerfallsprodukte von  $H_2O_2$ , wie freiwerdende Radikale ( $H^\cdot$ ,  $O^\cdot$ ,  $OH^\cdot$ ,  $HO_2^\cdot$ ), Perohydroxyl-Ionen ( $OOH^-$ ) oder Hydroxyl-Ionen ( $OH^-$ ) zunutze. Diese Radikale oder Ionen können die ungesättigten Doppelbindungen in chromogenen Molekülen aufspalten, Farbpigmente reduzieren oder oxidieren und so zu einer Farbveränderung führen. Sie zerfallen in Alkohole, Carboxylsäuren, Kohlendioxid und Wasser (Attin et al. 2001, Barkhordar et al. 1997, Feinman et al. 1991).

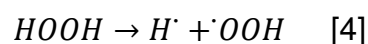
Durch die Reaktion von  $H_2O_2$  mit  $O_2^{\cdot -}$  [2], die sogenannte Haber-Weiss-Reaktion, werden reaktive Bestandteile wie z.B. Hydroxylradikale gebildet:



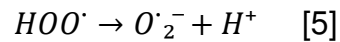
Als Katalysatoren der Reaktion agieren oxidierte Metallionen. Im ersten Teil der Reaktion wird ein oxidiertes Metallion (z.B.  $Fe^{2+}$ ,  $Cu^+$ ) durch ein Superoxidradikal ( $O_2^{\cdot -}$ ) reduziert. Im zweiten Teil, der sogenannten Fenton-Reaktion wird das Hydroxylradikal ( $OH^\cdot$ ) gebildet. Diese Hydroxylradikale sind sehr reaktionsfreudig und der pH-Wert steigt an, was die Heterolyse des Wasserstoffperoxids [3] begünstigt (Koppenol 2001):



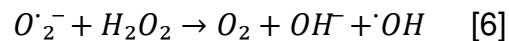
Findet eine Homolyse des Wasserstoffperoxids [4] statt, werden die Elektronen auf beide Radikale übertragen (Zeek et al. 2003):



Wenn die Umgebung sauer ist, kann aus dem  $\text{OOH}^\cdot$  ein Superoxidradikal und ein Wasserstoffion hervorgehen [5]:



Dieses Superoxidradikal kann wiederum mit Wasserstoffperoxid reagieren und weitere Radikale bilden [6]:



Carbamidperoxid ( $\text{CH}_4\text{N}_2\text{OH}_2\text{O}_2$ ) ist eine organische Verbindung und spaltet sich im Verhältnis 7 : 3 in Harnstoff und Wasserstoffperoxid. Auch hier macht man sich zum Bleichen die aus dem Wasserstoffperoxid freiwerdenden Radikale und Ionen zunutze. Peroxidlösungen sind instabil und zerfallen in ihre Bestandteile, wenn sie in Kontakt mit Speichel oder Gewebe kommen. Aus dem Harnstoff entsteht Ammoniak und Kohlendioxid, welche beide den pH-Wert ansteigen lassen (Haywood et al. 1991).

---

### 2.3. Farbmessung und Beurteilung

Um die Veränderung der Farbe, z.B. das Bleichergebnis, zu beurteilen gibt es verschiedene Möglichkeiten. Man kann die Farbe anhand von Farbmustern visuell vergleichen oder sie instrumentell messen. Die Farbe wird in den Merkmalen Helligkeit (hell/dunkel), Sättigung (kräftig/stumpf) und Farbton (Rot/Gelb/Blau) klassifiziert.

In einem Farbkörper kann eine Farbe dreidimensional dargestellt werden. Die verschiedenen Merkmale Helligkeit, Sättigung, und Farbton würden je eine Ebene beschreiben. Die Helligkeit verändert sich auf der senkrechten Achse, die Sättigung nimmt zur Mittelachse hin ab und die Farbtöne liegen auf dem Aussenmantel. Bei Abbildung 2-1 ist ein solcher Farbkörper zur Farbbestimmung dargestellt.

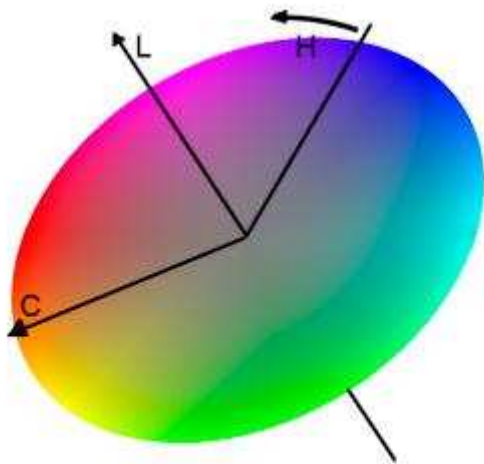


Abbildung 2-1 – Farbsystem aus Farbton (H), Helligkeit (L) und Sättigung (C).

[<https://naturfotografen-forum.de/o248098->

Eine+Einf%C3%BChrung+in+die+Welt+der+Farben+und+die+Grundlagen+des+Colormanagements]

---

### 2.3.1. Visuelle Farbmessung

Bei der visuellen Farbestimmung beeinflussen die Lichtquelle (Sonne, künstliche Lichtquellen), der Objekthintergrund, die Objektgrösse und die Betrachtungs- und Belichtungswinkel den Farbeindruck. Hinzu kommt, dass jeder Betrachter ein individuelles Farbempfinden besitzt. Bei der visuellen Farbestimmung müssen alle Faktoren berücksichtigt und konstant gehalten werden, um ein aussagekräftiges Resultat zu erhalten. Die visuelle Farbestimmung ist jedoch subjektiv (Konica Minolta 2003).

Das menschliche Auge hat verschiedene Rezeptortypen um das Sehen zu ermöglichen. Die Stäbchen der Netzhaut sind für die Helligkeit und die Zapfen für die Farbwahrnehmung zuständig. Bei den Zapfen gibt es drei verschiedene Arten (R, G, B), welche je eine andere Absorptionskurve für die Sehfarbstoffe aufweisen. So ist das Absorptionsmaximum für die Typ R Zapfen im Wellenlängenbereich der Farbe Rot (700 nm), dasjenige der Typ G Zapfen im Bereich der Farbe Grün (546 nm) und dasjenige der Typ B Zapfen im blauen Farbbereich (435 nm). Durch additive und subtraktive Farbmischung können aus diesen drei Grundfarben alle anderen Farben wahrgenommen werden. Geometrisch ist dies auf der Normfarbtafel (Schmidt et al. 2000) darstellbar (Abb. 2-2).

---

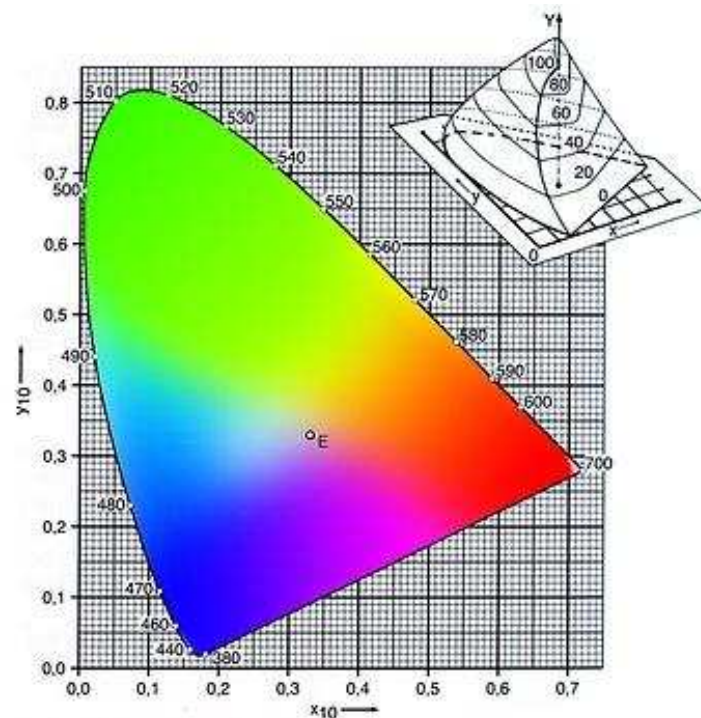


Abbildung 2-2 - CIE XYZ-Normvalenzsystem (CIE-Normalfarbraum). Wiedergabe aller sichtbaren Farben. E entspricht dem Punkt der Unbuntheit. [<http://www.sares.at/index.php?id=266>]

### 2.3.2. Instrumentelle Farbmessung

Die instrumentelle Farbmessung erlaubt es die Farben möglichst standardisiert zu messen und sie in Zahlenwerten oder Buchstaben zu beschreiben. Verschiedene Farbsysteme ermöglichen dies, wie z.B. die Munsell-Farbtafelfelder, das Xyz-System oder das in dieser Arbeit verwendete  $L^*a^*b^*$ -System. Die beiden Letzteren wurden von der Comission Internationale de l'Eclairage (CIE) entwickelt und erlauben es jede Farbe in Form von Zahlenwerten auszudrücken (Konica Minolta 2003).

Das System ist aus den drei Achsen  $L^*$ ,  $a^*$  und  $b^*$  aufgebaut.  $L^*$  beschreibt die Helligkeit,  $a^*$  die rot-grün-Achse und  $b^*$  die blau-gelb-Achse (Abb. 2-3). Die  $a^*$ - bzw.

b\*-Werte reichen von -60 bis +60. Sind die Werte positiv, so tendiert die Farbe Richtung Grün bzw. Gelb. Bei negativen Werten tendiert die Farbe Richtung Rot bzw. Blau. Die Helligkeit L\* wird in Werten von 0 (Schwarz) bis 100 (Weiss) angegeben. Um Farbänderungen auszudrücken, können die Differenzen der drei Werte L\*a\*b\* angegeben werden, oder man hat die Möglichkeit den Farbunterschied als  $\Delta E$ -Wert zu formulieren.  $\Delta E$  wird aus folgender Formel berechnet:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \text{ (Konica Minolta 2003).}$$

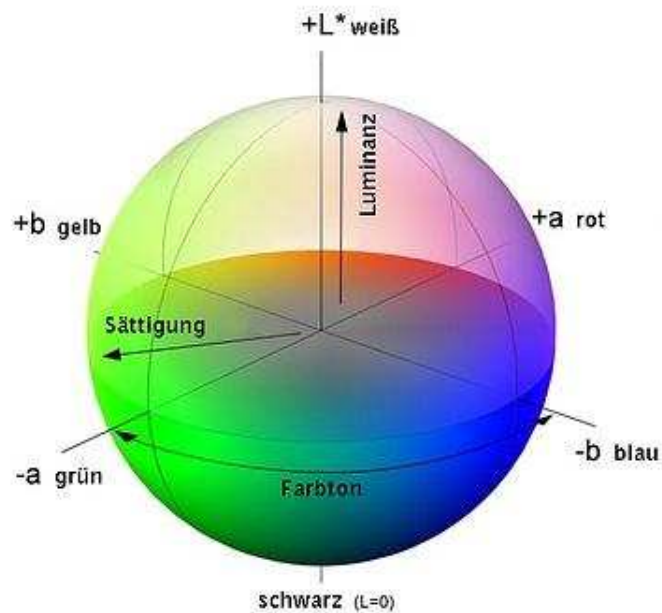


Abbildung 2-3 - CIE L\*a\*b\*-Farbsystem; L\*-Achse: Luminanz (Helligkeit); a\*-Achse: Sättigung/Farbton , negativ = grünlich , positiv = rötlich; b\*-Achse: Sättigung/Farbton , negativ = bläulich, positiv = gelblich [www.sares.at/index.php/id=266]

## 2.4. Härtemessung

Die Härte beschreibt den Widerstand, den ein Körper einer auf ihn gerichteten Kraft entgegensetzt (Stuart und Klages 1992). Bei Härtemessungen wird diese Kraft durch Eindruckstempel übertragen, welche je nach Art der Messung verschiedene Formen haben können. Der Eindruckstempel besitzt bei der Härtemessung nach Brinell eine runde Form, bei der Vickers- und Knoop-Härtemessung wurde eine pyramidale Form des Eindruckstempels gewählt. Vickers- und Knoop-Tests sind Mikrohärtetests, wogegen Brinell- und Rockwell-Tests Makrohärtetests darstellen. Beim Knoop-Test ist der Eindruckstempel ein Diamant, welcher bei der Messung für eine bestimmte Zeit mit einer konstanten Kraft auf das zu messende Objekt aufgelegt wird (van Noort 2002, Anusavice 2003). Der Knoop-Messdiamant hat eine pyramidale Form, welcher einen viel längeren als breiten Eindruck auf dem zu testenden Material hinterlässt. Die Enden der langen Diagonalen werden durch die elastische Rückwirkung, im Gegensatz zur kurzen Diagonalen des Eindruckes, praktisch nicht beeinflusst. Die Definition der Knoop-Härte ( $H_K$ ) ist wie folgt:

$$H_K = \frac{1.451F}{d^2}$$

Das  $d^2$  bei  $H_K$  ( $\text{N/mm}^2$ ) steht für das Quadrat der längeren Diagonale, welche dreissigmal der Tiefe und siebenmal der Breite des Eindruckes entspricht (Darvell 2009).

---



## 2.5. Fragestellung

Die knappe Verfügbarkeit an brauchbaren menschlichen Zähnen für Studienzwecke führte zur Suche nach einem Ersatz. Bovine Zähne sind in grösseren Mengen und einfacher zu erhalten als humane Zähne. Aus diesem Grund wurden zahlreiche Studien durchgeführt, welche die humane und bovine Zahnstruktur und deren Eigenschaften vergleichen (Esser et al. 1998, Arends et al. 1978 und 1979, Fincham et al. 1982). Die chemische, biologische und physikalische Zusammensetzung sowie die Wärmekapazität und der Ausdehnungskoeffizient sind bei humanen und bovinen Zähnen ähnlich. Unterschiede gibt es in der Dichte des Schmelzes, welche bei den bovinen Zähnen um 35% grösser ist, und auch bei den Schmelzkristalliten, welche ebenfalls bei den bovinen Zähnen grösser sind (Esser et al. 1998, Arends et al. 1978 und 1979, Fincham et al. 1982).

In vielen Studien (Travassos et al. 2010, Torres et al. 2010, Joiner et al. 2008, Parnian et al. 2010, Ushigome et al. 2009 und Hannig et al. 2007) werden humane Proben vollständig durch bovine Proben ersetzt, und die Farbveränderung durch verschiedene Bleichverfahren an den bovinen Proben gemessen

Bislang liegt nur eine Untersuchung vor, die den Bleicheffekt von 10% Carbamidperoxid bei humanen und bovinen Proben untersucht hat (Attia et al. 2009). Hierbei zeigte sich, dass die Farbänderung der humanen und bovinen Proben ähnlich war und keine signifikanten Unterschiede aufwies.

Zahlreiche Studien untersuchen jedoch, inwieweit es durch Bleichverfahren auch zu oberflächlichen Erweichungen der Zähne kommen kann. Auch für diese Untersuchungen werden i.d.R. bovine Zahnproben verwendet (Magalhães et al.

---

2012, Borges et al. 2011), ohne dass bislang allerdings untersucht wurde, ob die Härte und Härteveränderung der bovinen und humanen Proben vergleichbar ist.

Ziel dieser Studie ist es daher zu untersuchen, ob die beim Bleichen mit 10%-igem Carbamidperoxid-Gel auftretenden Härte- und Farbveränderungen in humanen und bovinen Schmelzproben vergleichbar sind.

---

### 3. Versuchsplanung

Aus 30 humanen und 20 bovinen Zähnen werden je 30 Schmelzproben hergestellt, die zufällig auf 10 Probanden verteilt werden. Jeder Proband trägt eine Schiene mit je drei humanen und drei bovinen Proben. Die Proben werden an fünf aufeinanderfolgenden Tagen für je acht Stunden intraoral gebleicht.

Vor Versuchsbeginn wird eine Basismessung der Härte und Farbe aller Proben durchgeführt. Anschliessend werden die Proben 5 mal für 8 h gebleicht (10% Carbamidperoxid-Gel) und zwischen den Bleichzyklen für je 16 h feucht gelagert. Nach  $t = 24 \text{ h}$ ,  $48 \text{ h}$ ,  $72 \text{ h}$ ,  $96 \text{ h}$ ,  $120 \text{ h}$  wird die Härte und Farbe jeweils erneut bestimmt (Abb. 3-1).

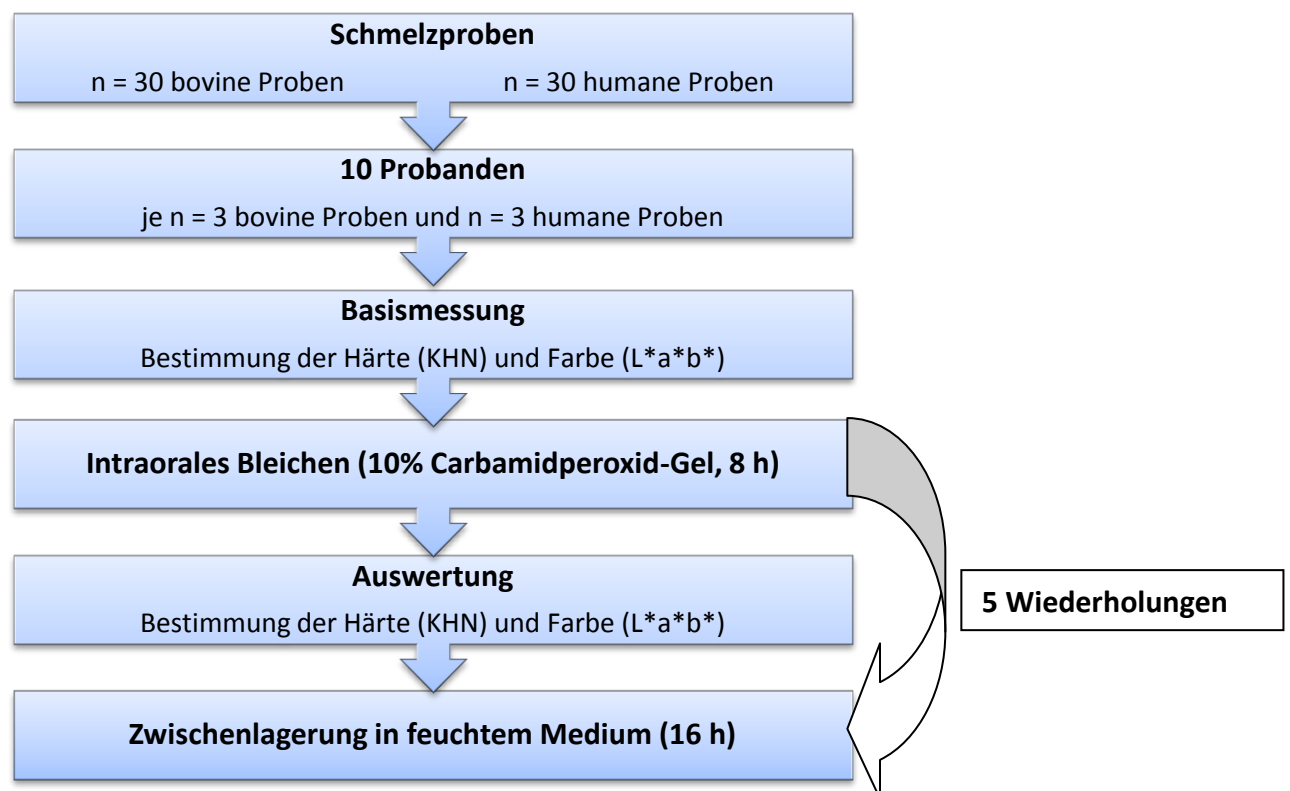


Abbildung 3-1 - Schematische Darstellung des Versuchsablaufs. KHN= Knoop-Härte

## 4. Material und Methode

### 4.1. Versuchsvorbereitung

#### 4.1.1. Herstellung der Schmelzproben

Für die Herstellung der 30 humanen und 30 bovinen Schmelzproben, wurden humane und bovine Frontzähne verwendet. Das Desmodont wurde mithilfe eines Skalpells entfernt, und die Krone von der Wurzel mittels eines Diamantschleifers getrennt. Während der Probenherstellung erfolgte die Aufbewahrung der Zahnkronen in Leitungswasser. Die Zahnkronen wurden in eine Fräsmaschine eingespannt und die Schmelzproben (Durchmesser 4 mm) mittels eines Trepanbohrers aus den Labialflächen gewonnen. Anschliessend wurden die Proben in Kunststoff (Palapress, Heraeus Kulzer, Hanau, Deutschland) eingebettet. Hierfür wurden sie mit der Schmelzoberfläche in im Durchmesser 6mm grosse, vorgefertigte, zylinderförmige Formen aus Silikon gelegt und mit dem Kunststoff (Palapress, Heraeus Kulzer, Hanau, Deutschland) übergossen. Nach dem Aushärten des Kunststoffes wurden die Proben aus den Silikonformen entfernt und wieder in Leitungswasser aufbewahrt.

Anschliessend wurden die Proben auf der labialen Schmelzseite mit Schleifpapieren (Waterproof Silicon Carbide Paper, Struers, Willich, Deutschland) in aufsteigender Feinheit (#500, #2400, #4000) poliert. Mikroskopisch wurde kontrolliert, ob auf der Oberfläche durch das Polieren Dentin freigelegt wurde. Auf der Rückseite wurde der Kunststoff mit einem Schleifpapier #180 parallel zur Schmelzfläche geschliffen. Das aufgrund des Schleifens exponierte Dentin auf der Rückseite der Probe, wurde mit Kunststoff (Palapress, Heraeus Kulzer, Hanau, Deutschland) abgedeckt. So wurde gewährleistet, dass diese Seite vollständig bedeckt war und ein eventueller Kontakt

---

der Rückseite mit Bleichmittel keinen Einfluss auf die Härte- oder Farbänderung ausüben konnte.

#### **4.1.2. Probanden**

An der Untersuchung nahmen zehn gesunde, freiwillige Probanden teil (6 männlich, 4 weiblich, 22 - 43 Jahre alt). Alle Probanden waren Nichtraucher, allgemeinmedizinisch gesund und wiesen eine genügende Pufferkapazität des Speichels auf ( $\geq 0.07$  ml HCl 0.1 M/ml Mundflüssigkeit bis pH 5.7 = genügend; gemessen von M. Kaufmann). Während der achtstündigen Tragezeit war den Probanden das Essen und das Trinken untersagt.

Die Studie wurde geprüft und genehmigt durch die Ethikkommission der Universität Zürich (StV Nr: 08/03).

#### **4.1.3. Herstellung der Trägerschienen**

Um die Schmelzproben in der Mundhöhle der Probanden zu platzieren wurde ein zweiteiliges Schienensystem auf den Oberkiefer-Gipsmodellen der Probanden hergestellt. Das Abformmaterial Alginat diente zur Herstellung von Abformungen der Oberkiefer aller Probanden.

Die Zähne 14 - 16 und 24 - 26 wurden bukkal mit Platzhaltern versehen, welche der Grösse der Schmelzproben entsprachen. Anschliessend wurde eine Tiefziehschiene aus weichem Kunststoff (Erkoflex-bleach 1.0 mm, Erkodent, Pfalzgrafenweiler, Deutschland) hergestellt. An den Stellen der Platzhalter wurde der bukkale Anteil der

---

Schiene ausgeschnitten, sodass die Probenoberflächen nach dem Einsetzen der Proben in die Schiene nicht mehr vom Kunststoff bedeckt, sondern zur Mundhöhle hin exponiert waren. Damit das auf die Probenoberfläche aufgetragene Bleichgel nicht sofort durch den Speichel oder Wangenkontakt abgetragen wird, wurde eine zweite Schiene (Erkoflex-bleach 1.0 mm, Erkodent, Pfalzgrafenweiler, Deutschland) mit einem Reservoir für das Bleichgel benötigt. Diese zweite Schiene simulierte die eigentliche Bleichschiene, welche sicherstellen sollte, dass das auf die Probenoberfläche aufgetragene Bleichgel während der achtsündigen intraoralen Exposition auf der Probenoberfläche verblieb (Abb. 4-1 und 4-2).



Abbildung 4-1 - Trägerschiene und Deckschiene



Abbildung 4-2 - Trägerschiene und Deckschiene übereinander

## 4.2. Versuchsdurchführung

Zunächst wurde eine Basismessung ( $t = 0$  h) der Härte und Farbe an allen Proben vorgenommen. Anschliessend erfolgte die Abgabe der Schienen mit den Proben an die Probanden. Dazwischen wurden die Proben in Leitungswasser gelagert. Der erste Bleichzyklus startete mit dem Einsetzen in die Mundhöhle ( $t = 16$  h).

Vor dem Einsetzen mussten die Probanden die Deckschiene entfernen, damit sie eine dünne Schicht (0.05 – 0.1 ml) des Bleichgels (Opalescence Mint 10% Carbamide Peroxide, Ultradent, Utah, USA) auf die Proben applizieren konnten. Die Probanden wurden darauf hingewiesen, dass die ganze Probenoberfläche mit Bleichgel bedeckt werden musste. Sobald alle Proben benetzt waren, wurde die Deckschiene wieder über die Trägerschiene gesetzt und somit ein Reservoir für das Bleichgel gebildet. Nach acht Stunden wurde das Schienensystem aus der Mundhöhle entfernt und die Härte und Farbe ( $t = 24$  h) gemessen. Dafür wurde das Bleichgel vorgängig von jeder Probe 15 s unter fliessendem Leitungswasser abgespült. Mit einem Zellstofftuch wurde die Schmelzprobenoberfläche getrocknet. Unmittelbar nach der Messung wurden die Proben wieder in die Schiene eingesetzt. Die Schiene wurde in den 16 h bis zum nächsten Bleichzyklus in ein mit Leitungswasser befeuchtetes Tuch gewickelt und in einer verschlossenen Plastikdose aufbewahrt. Der Bleichzyklus fand insgesamt fünfmal für 8 h statt. Die Messungen erfolgten zu den Zeitpunkten  $t = 0$  h, 24 h, 48 h, 72 h, 96 h, und 120 h.

---

#### 4.2.1. Härtemessung

Die Messungen wurden nach der Basismessung zum Zeitpunkt  $t = 0$  h insgesamt fünfmal wiederholt. Jeweils zu den Zeitpunkten  $t = 24$  h, 48 h, 72 h, 96 h und 120 h wurde mithilfe des Härtemessgeräts (Buehler High Quality Hardness Tester, Buehler, Düsseldorf, Deutschland) die Knoop-Härte bestimmt. Es wurden pro Probe und Zeitpunkt je 3 Messungen durchgeführt und daraus jeweils die Mittelwerte berechnet.

Die plane Oberfläche der Schmelzprobe wurde exakt so eingestellt, dass der Diamant der Härtemessmaschine im rechten Winkel auf die Probe auftraf und einen symmetrischen Abdruck hinterliess. Die Messungen wurden auf einer Fläche von 250 bis 300  $\mu\text{m}^2$  nebeneinander durchgeführt. Als Standard diente 50 g Auflagegewicht während 20 s (Abb. 4-3 und 4-4). Die Knoop-Härte ( $H_K$ ) wurde aus der Länge des Eindruckstempels wie folgt berechnet:

$$H_K = 1,451 \times \frac{F}{l^2}$$

$F = 1[\text{N}]$ , Prüfgewicht

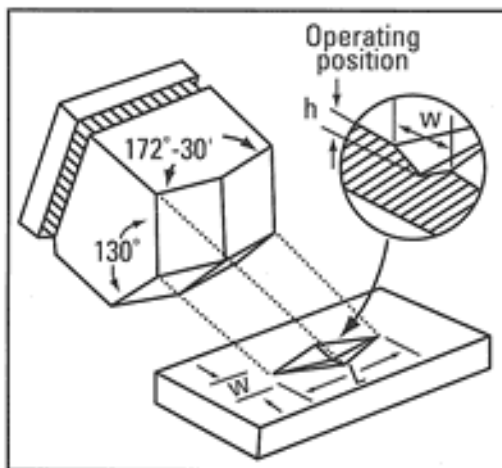
$l = 1[\text{m}]$ , grosse Diagonale des Eindrucks

---

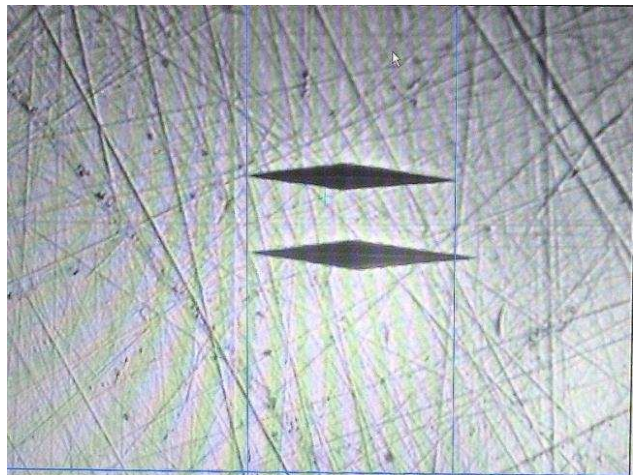




Abbildung 4-3 - Härtemessgerät mit Schmelzprobe auf Träger



A)



B)

Abbildung 4-4 – A) Messung der Knoop-Härte.  $h$  = Tiefe des Eindruckstempels,  $W$  = Breite des Eindruckstempels,  $L$  = Länge des Eindruckstempels [[www.instron.ch/wa/applications/test\\_types/hardness/knoop.aspx?ref](http://www.instron.ch/wa/applications/test_types/hardness/knoop.aspx?ref)]; B) Monitor mit zwei Eindrücken des Messdiamanten

#### 4.2.2. Farbbestimmung

Die Farbe wurde nach dem L\*a\*b\*-System mit einem Spectrophotometer Minolta CM-3500d (Konica Minolta, Tokio, Japan) bestimmt. Jede Probe wurde pro Messzeitpunkt (t = 0 h, 24 h, 48 h, 72 h, 96 h, 120 h) 5 mal gemessen und daraus jeweils die Mittelwerte ermittelt. Es wurden die Werte a, b und L verwendet und daraus zusätzlich  $\Delta E$  berechnet.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$

Das Farbmessgerät wurde nach jeweils zehn Messungen wieder neu kalibriert um Fehler durch Geräteschwankungen zu minimieren. Um die Messungen standardisiert durchzuführen wurden die Proben mit Hilfe eines Trägers in das Farbmessgerät eingespannt (Abb. 4-5). Dieser Träger hatte eine runde Aussparung um eine Schmelzprobe im Durchmesser von 4 mm aufnehmen zu können. Der Träger war so konstruiert, dass die Aussparung die Schmelzoberfläche der eingesetzten Probe genau auf den Messpunkt des Farbmessgerätes auflegte und sie in dieser Position fixierte. So wurde ein Verschieben der Probe während der Messung verhindert, und die Messposition konnte bei jedem Messzyklus reproduziert werden. Die Probe wurde stirnseitig in die Fixationshilfe gesetzt, so dass die gesamte Schmelzprobe, jedoch nicht das Einbettmaterial der Probe gemessen wurde. Nach der Messung wurde die Probe wieder am gleichen Ort in der Bleichschiene eingesetzt.

---

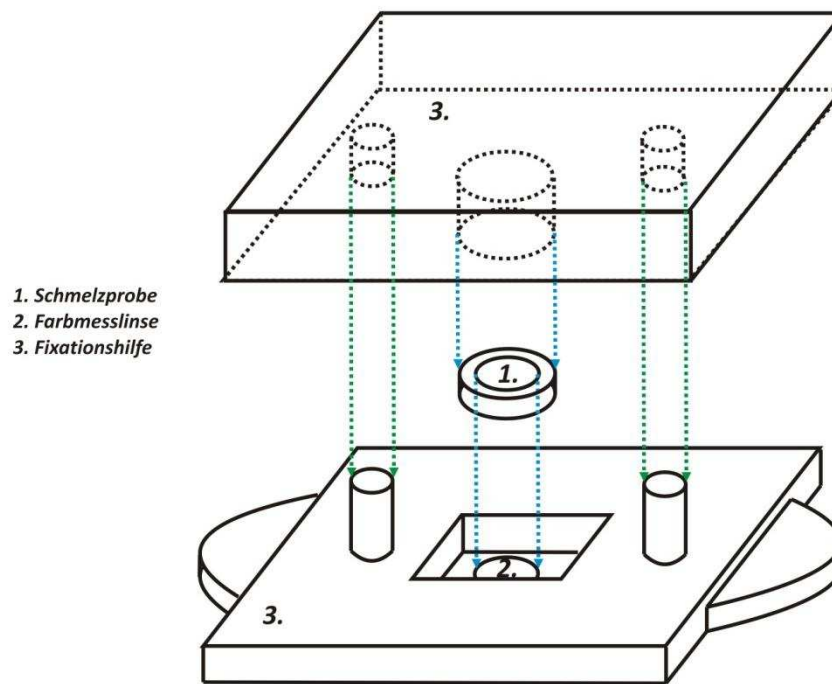


Abbildung 4-5 - Farbmessgerät mit Schmelzprobe auf Träger

#### 4.2.3. Statistische Auswertung

Für die deskriptive Statistik wurden die Mittelwerte und Standardabweichungen (SD) der Härte- und Farbwerte zusammen mit entsprechendem 95%-Vertrauensintervall (95% CI) zu jedem Zeitpunkt für humanen und bovinen Schmelz berechnet.

Die Daten wurden in linearen gemischten Modellen (Linear Mixed Models) ausgewertet. Die Wahl der Modelle erfolgte mit AIC (Akaike Information Criterion) und BIC (Bayesian Information Criterion). Die Ergebnisse der Analysen wurden durch die Angabe der Schätzung des Regressionsparameters, dessen Standardfehlers, der Signifikanz des Parameters und des 95% CI zusammengefasst. Ergebnisse der Analysen mit einem p-Wert  $\leq 0,05$  wurden als statistisch signifikant interpretiert. Alle Analysen wurden mit SPSS Version 16 (IBM, New York, USA) durchgeführt.

## 5. Ergebnisse

### 5.1. Humane Schmelzproben

Bei den humanen Schmelzproben führte das Bleichverfahren im Verlauf der Zeit zu einer signifikanten Farbveränderung ( $\Delta E$ -Wert) von 4.1 Einheiten (Abb. 5-1). Die Änderungen der  $L^*a^*b^*$ -Werte sind in den Abbildungen 5-2 bis 5-4 dargestellt. Die  $L^*$ -Werte zeigten eine signifikante Erhöhung um 3.5 Einheiten und somit eine deutliche Aufhellung der Schmelzproben (Abb. 5-2). Die  $a^*$ - und  $b^*$ -Werte wurden im Verlauf des Bleichens signifikant reduziert. Die  $a^*$ -Werte nahmen um 0.4 Einheiten und die  $b^*$ -Werte um 1.6 Einheiten ab (Abb. 5-3 und 5-4).

Die Knoop-Härte reduzierte sich im Verlauf des Bleichverfahrens statistisch signifikant von 337.2 KHN auf 312.4 KHN (Abb. 5-5).

Die Mittelwerte (MW), Standardabweichungen (SD) und die unteren und oberen Grenzen der 95%-igen Vertrauensintervalle (CI) aller gemessenen Daten sind in den Tabellen 5-1 und 5-2 ersichtlich.

---

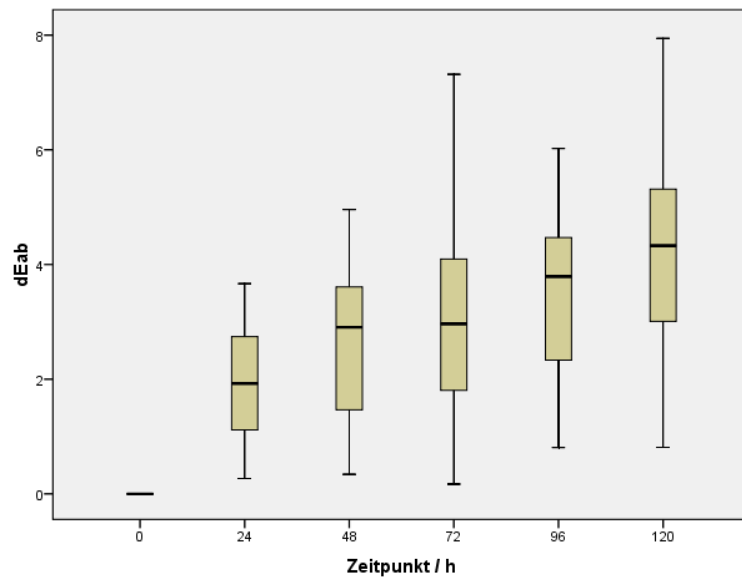


Abbildung 5-1 - Die Gesamtfärbänderung  $\Delta E$  der humanen Schmelzproben (Median, 25% und 75% Quartil) ist als Differenz zwischen dem jeweiligen Zeitpunkt und dem Zeitpunkt  $t = 0$  h dargestellt.

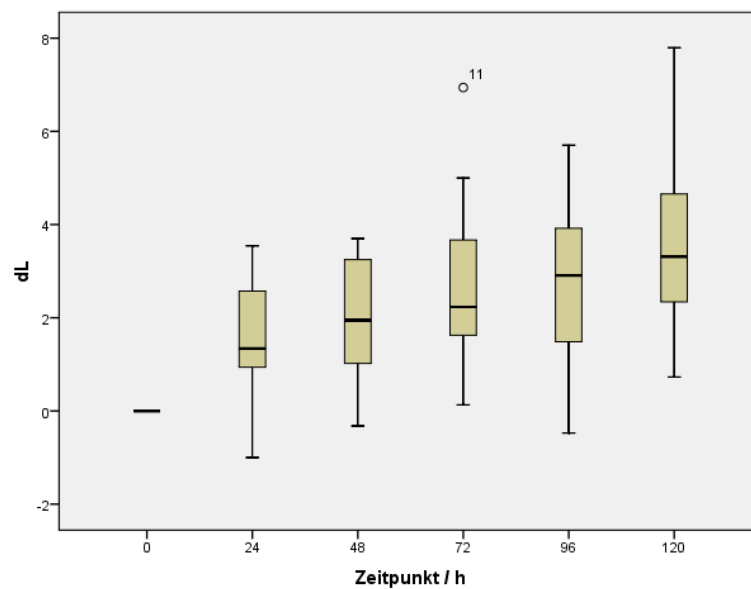


Abbildung 5-2 - Die Änderung der Helligkeit  $\Delta L$  der humanen Schmelzproben (Median, 25% und 75% Quartil) ist als Differenz zwischen dem jeweiligen Zeitpunkt und dem Zeitpunkt  $t = 0$  h dargestellt. Der Mittelwert  $L$  zum Zeitpunkt  $t = 0$  h betrug 49.23.

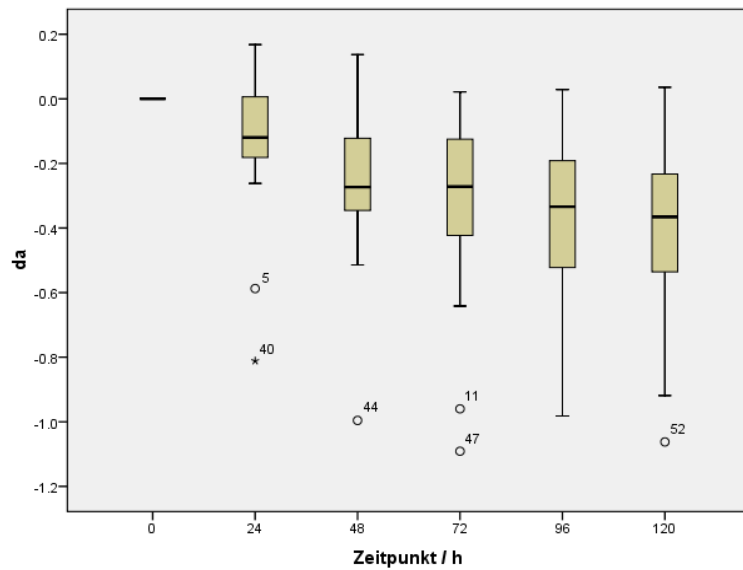


Abbildung 5-3 - Die Farbänderung  $\Delta a$  der humanen Schmelzproben (Median, 25% und 75% Quartil) ist als Differenz zwischen dem jeweiligen Zeitpunkt und dem Zeitpunkt  $t = 0$  h dargestellt. Der Mittelwert  $a$  zum Zeitpunkt  $t = 0$  h betrug -0.53.

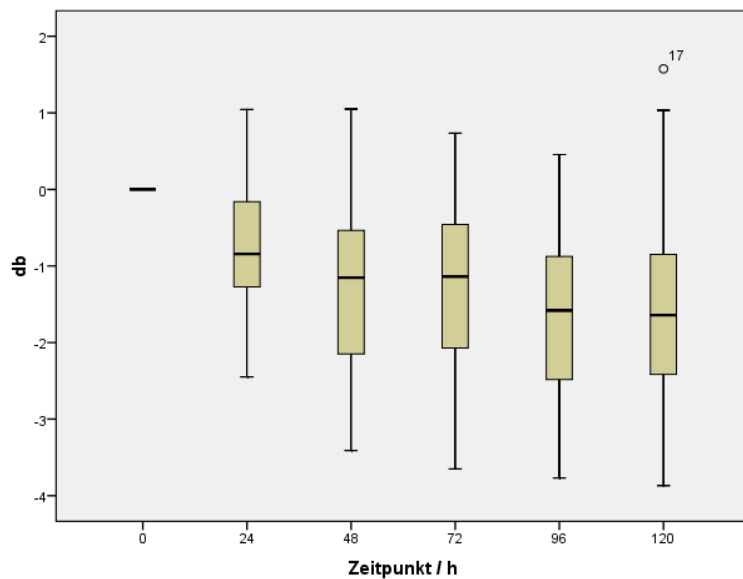


Abbildung 5-4 - Die Farbänderung  $\Delta b$  der humanen Schmelzproben (Median, 25% und 75% Quartil) ist als Differenz zwischen dem jeweiligen Zeitpunkt und dem Zeitpunkt  $t = 0$  h dargestellt. Der Mittelwert zum Zeitpunkt  $t = 0$  h betrug 5.23.

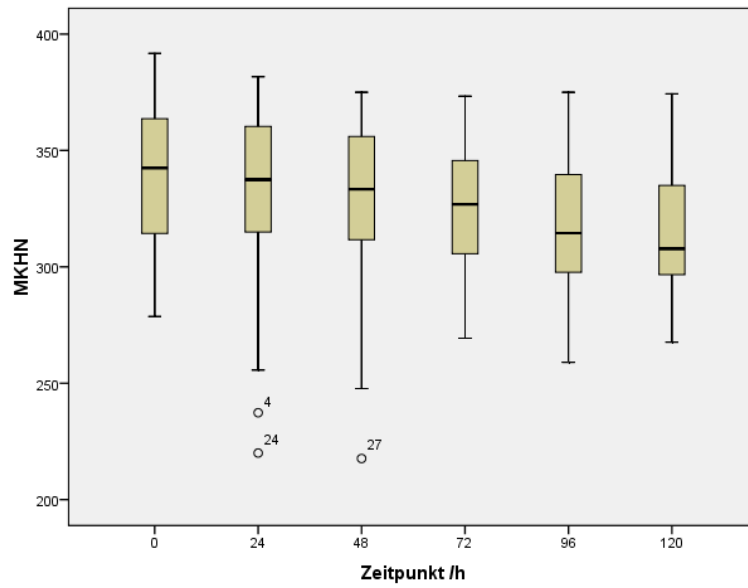


Abbildung 5-5 - Mittlere Knoop-Härte (MKHN) der humanen Schmelzproben (Median, 25% und 75% Quartil) zu den jeweiligen Zeitpunkten. Der Mittelwert MKHN zum Zeitpunkt  $t = 0$  h betrug 337.2.

		Zeitpunkt (h)					
		t = 0	t = 24	t = 48	t = 72	t = 96	t = 120
Farbe L	MW	49.2 ± 2.8	50.8 ± 3.0	51.2 ± 3.0	51.8 ± 2.9	52.0 ± 2.9	52.7 ± 2.8
	CI	48.2; 50.3	49.7; 51.9	50.0; 52.3	50.8; 52.9	51.0; 53.1	51.6; 53.7
Farbe a	MW	-0.5 ± 0.5	-0.7 ± 0.6	-0.8 ± 0.6	-0.8 ± 0.5	-0.9 ± 0.5	-0.9 ± 0.5
	CI	-0.7; -0.3	-0.9; -0.5	-1.0; -0.6	-1.0; -0.7	-1.1; -0.7	-1.1; -0.7
Farbe b	MW	5.2 ± 1.7	4.5 ± 1.8	4.0 ± 2.0	4.1 ± 1.9	3.6 ± 1.9	3.6 ± 2.0
	CI	4.6; 5.9	3.8; 5.2	3.3; 4.8	3.4; 4.8	2.9; 4.3	2.9; 4.4
dL	MW	-	1.6 ± 1.1	1.9 ± 1.3	2.6 ± 1.5	2.8 ± 1.6	3.5 ± 1.7
	CI	-	1.1; 2.0	1.4; 2.4	2.1; 3.2	2.2; 3.4	2.8; 4.1
da	MW	-	-0.1 ± 0.2	-0.3 ± 0.2	-0.3 ± 0.3	-0.4 ± 0.3	-0.4 ± 0.3
	CI	-	-0.2; -0.1	-0.3; -0.2	-0.4; -0.2	-0.5; -0.3	-0.5; -0.3
db	MW	-	-0.7 ± 0.8	-1.2 ± 1.1	-1.2 ± 1.1	-1.6 ± 1.1	-1.6 ± 1.3
	CI	-	-1.0; -0.4	-1.6; -0.8	-1.6; -0.8	-2.1; -1.2	-2.1; -1.1
dEab	MW	-	2.0 ± 1.0	2.6 ± 1.3	3.1 ± 1.6	3.5 ± 1.4	4.1 ± 1.7
	CI	-	1.6; 2.3	2.1; 3.1	2.5; 3.6	3.0; 4.1	3.4; 4.7

Tabelle 5-1 - Mittelwerte (MW) mit Standardabweichungen (SD) und die unteren und oberen Grenzen der Vertrauensintervalle (95% CI) der Farbwerte der humanen Schmelzproben zu den Zeitpunkten t = 0 h, 24 h, 48 h, 72 h, 96 h, 120 h.

		Zeitpunkt (h)					
		t = 0	t = 24	t = 48	t = 72	t = 96	t = 120
KHN	MW	337.2 ± 29.9	329.4 ± 41.5	328.6 ± 36.7	325.0 ± 26.7	318.5 ± 29.9	312.4 ± 27.1
	CI	326.0; 348.4	313.9; 344.9	314.8; 342.3	315.0; 335.0	307.4; 329.7	302.2; 322.5

Tabelle 5-2 - Mittelwerte (MW) mit Standardabweichungen (SD) und die unteren und oberen Grenzen der Vertrauensintervalle (95% CI) der Härte der humanen Schmelzproben zu den Zeitpunkten t = 0 h, 24 h, 48 h, 72 h, 96 h, 120 h.



## 5.2. Bovine Schmelzproben

Auch bei den bovinen Schmelzproben führte das Bleichverfahren im Verlauf der Zeit zu einer signifikanten Farbveränderung ( $\Delta E$ -Wert) um 4.9 Einheiten verglichen zur Basismessung (Abb. 5-6). Die Änderungen der  $L^*a^*b^*$ -Werte sind in den Abbildungen 5-7 bis 5-9 ersichtlich. Die bovinen Schmelzproben zeigten eine signifikante Erhöhung der  $L^*$ -Werte um 4.1 Einheiten (Abb. 5-7). Die  $a^*$ - und  $b^*$ -Werte wurden im Verlauf des Bleichens signifikant reduziert (Abb. 5-8 und 5-9). Die  $a^*$ -Werte nahmen um 0.2 Einheiten und die  $b^*$ -Werte um 2.4 Einheiten ab.

Die Knoop-Härte nahm im Verlauf des Bleichverfahrens statistisch signifikant vom Ausgangswert 306.2 KHN um 20.6 KHN ab (Abb. 5-10).

Die Mittelwerte (MW), Standardabweichungen (SD) und die unteren und oberen Grenzen der 95%-igen Vertrauensintervalle (CI) aller gemessenen Daten sind in der Tabelle 5-3 und 5-4 ersichtlich.

---

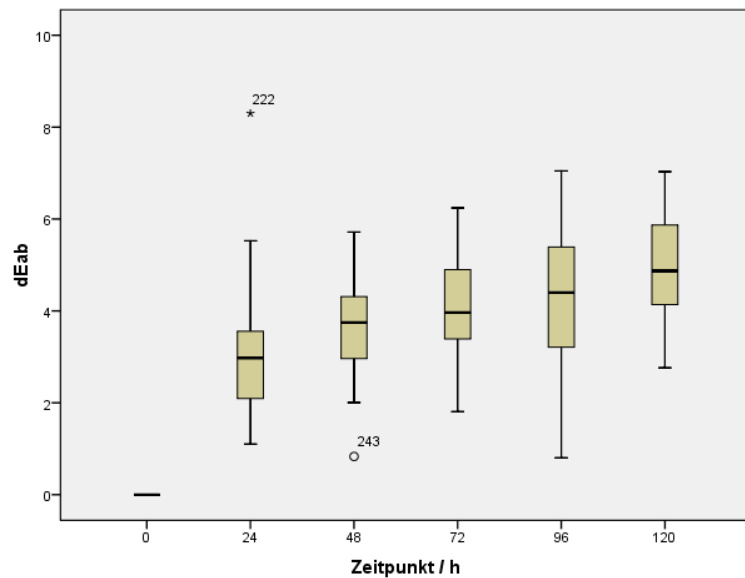


Abbildung 5-6 Die Gesamtfarbänderung  $\Delta E$  der bovinen Schmelzproben (Median, 25% und 75% Quartil) ist als Differenz zwischen dem jeweiligen Zeitpunkt und dem Zeitpunkt  $t = 0$  h dargestellt.

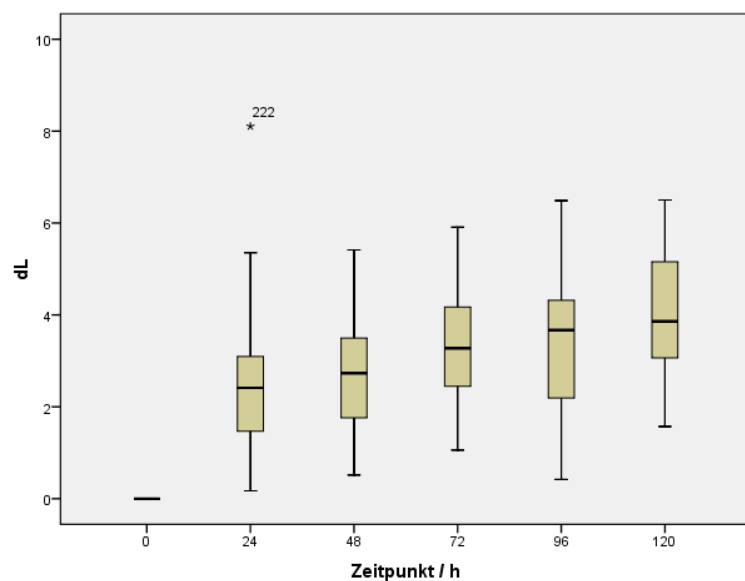


Abbildung 5-7 - Die Helligkeitsänderung  $\Delta L$  der bovinen Schmelzproben (Median, 25% und 75% Quartil) ist als Differenz zwischen dem jeweiligen Zeitpunkt und dem Zeitpunkt  $t = 0$  h dargestellt. Der Mittelwert  $L$  zum Zeitpunkt  $t = 0$  h betrug 56.44.

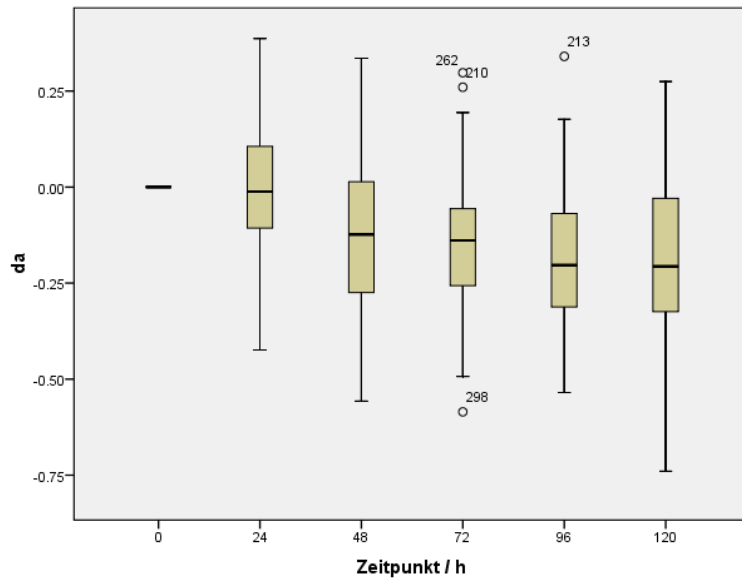


Abbildung 5-8 - Die Farbänderung  $\Delta a$  der bovinen Schmelzproben (Median, 25% und 75% Quartil) ist als Differenz zwischen dem jeweiligen Zeitpunkt und dem Zeitpunkt  $t = 0$  h dargestellt. Der Mittelwert  $a$  zum Zeitpunkt  $t = 0$  h betrug -2.04.

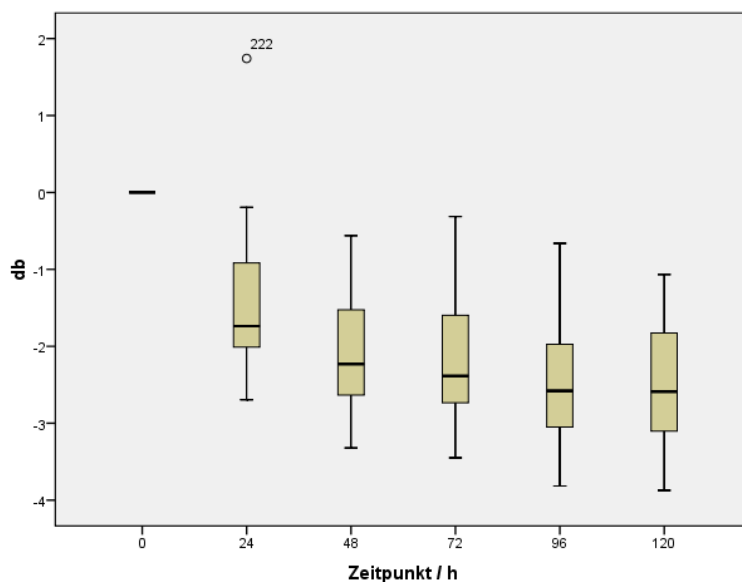


Abbildung 5-9 - Die Farbänderung  $\Delta b$  der bovinen Schmelzproben (Median, 25% und 75% Quartil) ist als Differenz zwischen dem jeweiligen Zeitpunkt und dem Zeitpunkt  $t = 0$  h dargestellt. Der Mittelwert zum Zeitpunkt  $t = 0$  h betrug 1.33.

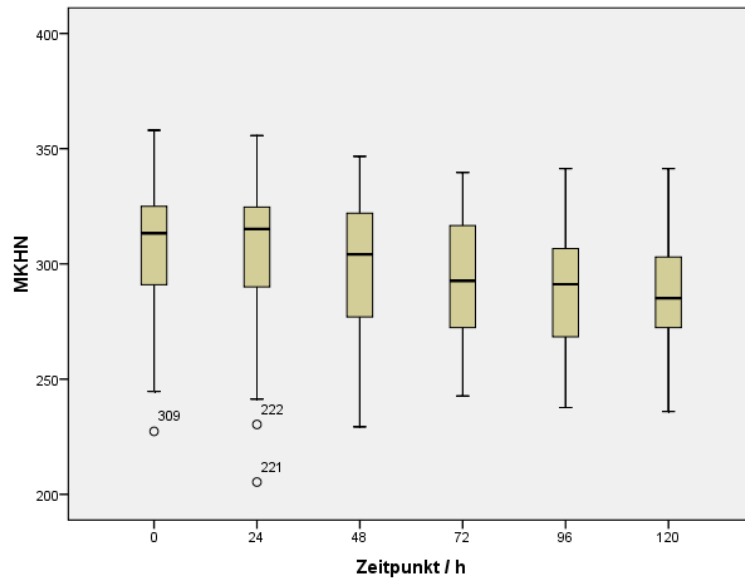


Abbildung 5-10 - Mittlere Knoophärte (MKHN) der bovinen Schmelzproben (Median, 25% und 75% Quartil) zu den jeweiligen Zeitpunkten. Der Mittelwert zum Zeitpunkt  $t = 0$  h betrug 306.2.

		Zeitpunkt (h)					
		t = 0	t = 24	t = 48	t = 72	t = 96	t = 120
Farbe L	MW	56.4 ± 3.4	59.0 ± 3.6	59.2 ± 3.4	59.8 ± 3.4	59.8 ± 3.5	60.5 ± 3.3
	CI	55.2; 57.7	57.6; 60.3	57.9; 60.5	58.5; 61.0	58.5; 61.1	59.3; 61.8
Farbe a	MW	-2.0 ± 0.4	-2.0 ± 0.4	-2.2 ± 0.4	-2.2 ± 0.4	-2.2 ± 0.4	-2.2 ± 0.4
	CI	-2.2; -1.9	-2.2; -1.9	-2.3; -2.0	-2.3; -2.0	-2.4; -2.1	-2.4; -2.1
Farbe b	MW	1.3 ± 1.6	-0.1 ± 1.7	-0.8 ± 1.6	-0.9 ± 1.7	-1.2 ± 1.7	-1.1 ± 1.6
	CI	0.7; 1.9	-0.8; 0.5	-1.4; -0.2	-1.5; -0.2	-1.8; -0.6	-1.7; -0.5
dL	MW	-	2.5 ± 1.7	2.7 ± 1.1	3.3 ± 1.1	3.4 ± 1.5	4.1 ± 1.3
	CI	-	1.9; 3.1	2.3; 3.2	2.9; 3.8	2.8; 4.0	3.6; 4.6
da	MW	-	0.0 ± 0.2	-1.1 ± 0.2	-0.1 ± 0.2	-0.2 ± 0.2	-0.2 ± 0.2
	CI	-	-0.1; -0.1	-0.2; -0.0	-0.2; -0.1	-0.3; -0.1	-0.3; -0.1
db	MW	-	-1.4 ± 0.9	-2.1 ± 0.7	-2.2 ± 0.8	-2.5 ± 0.8	-2.4 ± 0.8
	CI	-	-1.7; -1.1	-2.4; -1.8	-2.5; -1.9	-2.8; -2.2	-2.7; -2.1
dEab	MW	-	3.1 ± 1.5	3.6 ± 1.1	4.1 ± 1.0	4.3 ± 1.4	4.9 ± 1.2
	CI	-	2.6; 3.7	3.2; 4.0	3.7; 4.5	3.8; 4.9	4.4; 5.3

Tabelle 5-3 - Mittelwerte (MW) mit Standardabweichungen (SD) und die unteren und oberen Grenzen der Vertrauensintervalle (95% CI) der Farbwerte der bovinen Schmelzproben zu den Zeitpunkten t = 0 h, 24 h, 48 h, 72 h, 96 h, 120 h.

		Zeitpunkt (h)					
		t = 0	t = 24	t = 48	t = 72	t = 722	t = 120
KHN	MW	306.2 ± 29.1	302.5 ± 37.0	300.3 ± 29.1	292.9 ± 26.5	288.1 ± 23.7	285.6 ± 23.5
	CI	295.4; 317.1	288.7; 316.3	289.5; 311.2	283.0; 302.8	279.3; 297.0	276.8; 294.3

Tabelle 5-4 - Mittelwerte (MW) mit Standardabweichungen (SD) und die unteren und oberen Grenzen der Vertrauensintervalle (95% CI) der Härte der bovinen Schmelzproben zu den Zeitpunkten t = 0 h, 24 h, 48 h, 72 h, 96 h, 120 h.

### 5.3. Vergleich bovine und humane Schmelzproben

Nach statistischer Auswertung der gemessenen Daten humaner und boviner Schmelzproben konnten keine signifikanten Unterschiede in der Härte- und Farbveränderung zwischen den bovinen und humanen Proben über die Zeit gefunden werden.

Die Absolutwerte der Härte zeigten signifikante Unterschiede zwischen humanen und bovinen Proben, da bovine Proben insgesamt weicher waren als humane Proben. Die Härte der humanen und bovinen Schmelzproben nahm über die Zeit um 7.4% (humane Proben) bzw. 6.7% (bovine Proben) signifikant ab ( $p < 0.001$ ). Es zeigten sich allerdings keine signifikanten Unterschiede in der linearen Anpassung der Härte zwischen humanen und bovinen Proben über die Zeit ( $p < 0.864$ ) (Tab. 5-5). Davon lässt sich ableiten, dass die Abnahme der Werte in beiden Gruppen parallel verläuft (Abb. 5-11).

Die Rohwerte der Farben unterschieden sich signifikant zwischen den humanen und bovinen Proben ( $p < 0,001$ ). Die  $\Delta E$ -Werte (Gesamtfarbveränderung) nehmen bei humanen und bovinen Proben über die Zeit signifikant zu ( $p < 0,001$ ). In der linearen Anpassung der Farbänderung waren die Interaktionen der bovinen und humanen Proben über die Zeit jedoch nicht signifikant ( $p = 0.23$ ) (Tab. 5-6). Somit kann abgeleitet werden, dass die Farbveränderungen der bovinen und humanen Proben parallel verlaufen (Abb. 5-12).

Zusammenfassend sind die bovinen Proben etwas heller und weicher als die humanen Schmelzproben, die Farb- und Härteänderungen sind jedoch nicht signifikant unterschiedlich.

---

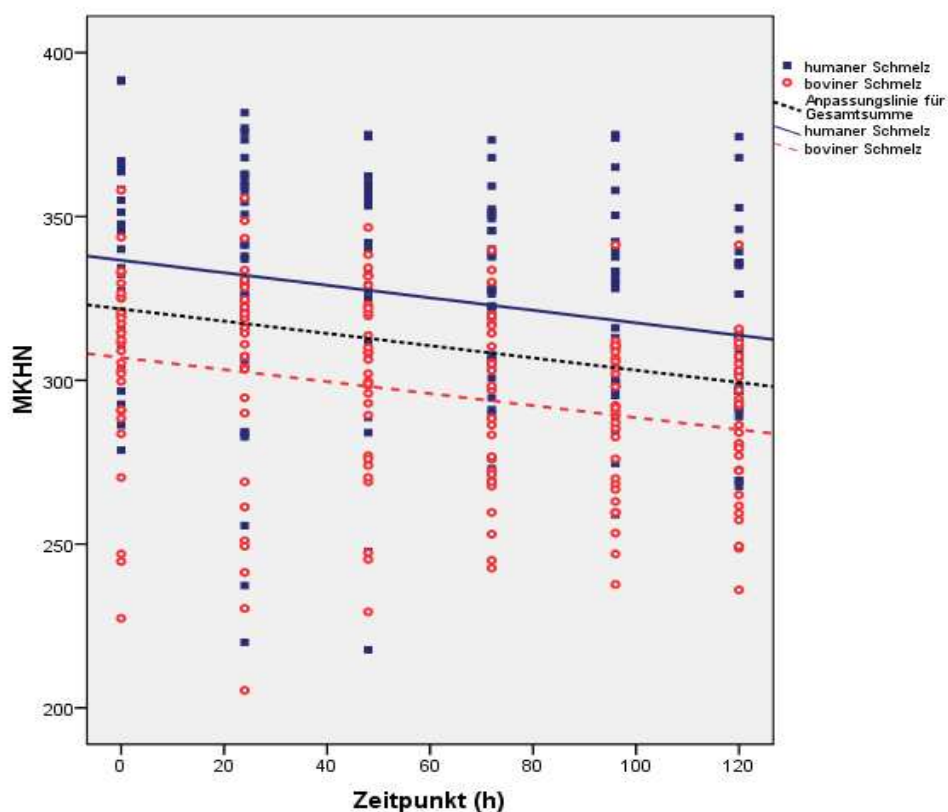


Abbildung 5-11 - Lineare Anpassung des Härteverlaufs der humanen und bovinen Proben über die Zeit. Signifikante Unterschiede bestehen zwischen humanen und bovinen Proben bezüglich der Rohwerte ( $p < 0.001$ ). Bovine Proben sind insgesamt weicher als humane Proben. Ausserdem ist die Abnahme der Härte bei bovinen und humanen Schmelzproben über die Zeit signifikant ( $p < 0.001$ ). Die Interaktion zwischen der Zeit und der Zahnhartsubstanz ist nicht signifikant ( $p = 0.864$ ). Daraus lässt sich schliessen, dass die Abnahme der Härte in beiden Gruppen parallel verläuft.

Parameter	Schätzung	Standardfehler	Signifikanz	Konfidenzintervall 95%	
				Untergrenze	Obergrenze
Konstanter Term	336.642	5.067	0.000	326.557	346.727
Zeitpunkt	-0.191	0.032	0.000	-0.256	-0.126
Zahnhartsubstanz	-29.726	7.167	0.000	-43.989	-15.464
Interaktion Zeit/Substanz	0.008	0.047	0.864	-0.084	0.1

Tabelle 5-5 - Schätzung fester Parameter mit MKHN als abhängige Variable.

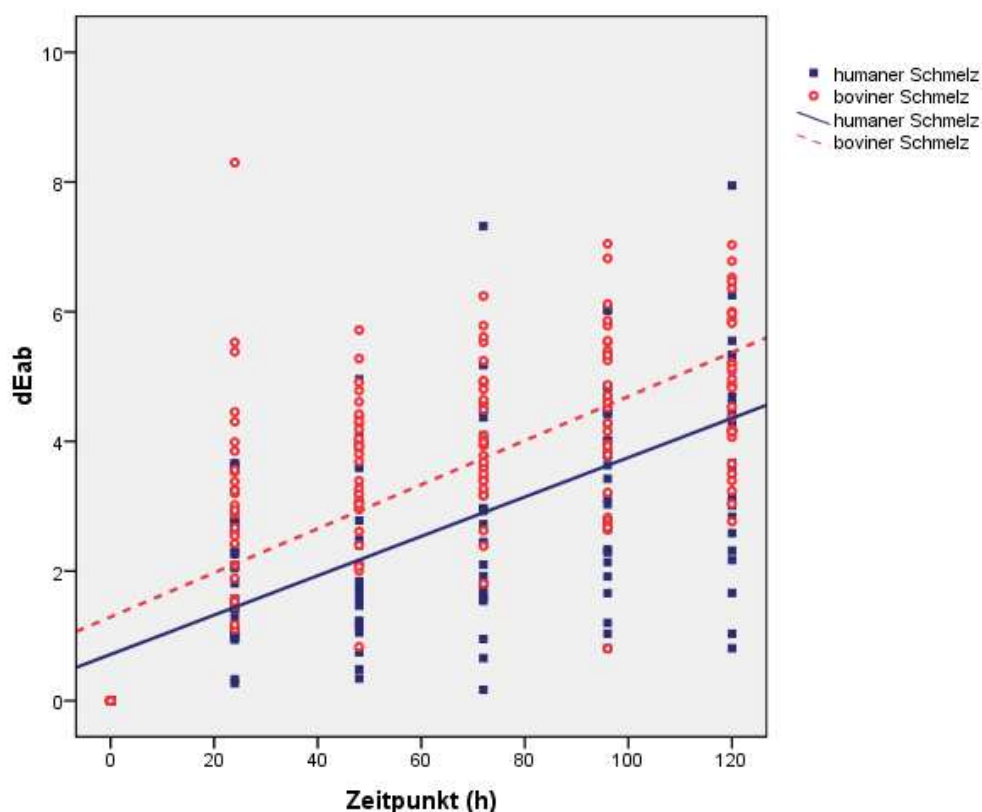


Abbildung 5-12 - Lineare Anpassung des Farbverlaufs der humanen und bovinen Proben über die Zeit. Signifikante Unterschiede bezüglich der Rohwerte der Farbe bestehen zwischen humanen und bovinen Proben ( $p < 0.001$ ). Die Zunahme der  $\Delta E$ -Werte bei bovinen und humanen Schmelzproben über die Zeit ist signifikant ( $p < 0.001$ ). Die Interaktion zwischen der Zeit und den Substanzen ist jedoch nicht signifikant ( $p = 0.23$ ). Die Gerade der bovinen und humanen  $\Delta E$ -Werte verläuft folglich parallel.

Parameter	Schätzung	Standardfehler	Signifikanz	Konfidenzintervall 95%	
				Untergrenze	Obergrenze
Konstanter Term	1.5	0.247	0.000	1.011	1.99
Zeitpunkt	0.021	0.002	0.000	0.017	0.026
Zahnhartsubstanz	1.216	0.35	0.001	0.525	1.907
Interaktion Zeit/Substanz	-0.004	0.003	0.230	-0.01	0.002

Tabelle 5-6 - Schätzung fester Parameter mit  $\Delta E$  als abhängige Variable.



## 6. Diskussion

### 6.1. Diskussion der Methode

Die Farbunterschiede wurden mittels instrumenteller Farbmessung (Spectrophotometer Minolta CM-3500d, Firma Konica Minolta) bestimmt, was im Gegensatz zur visuellen Farbbestimmung eine hohe Reproduzierbarkeit gewährleistet (Setz et al. 1992). Damit eine standardisierte Farbmessung möglich war, wurde der Träger so konstruiert, dass die Probe immer in der gleichen Position fixiert werden konnte und die Farbmessung somit immer an derselben Stelle der Probe erfolgte. Zur Farbmessung wurde die Schmelzprobe getrocknet, um eine Verfälschung des Messergebnisses durch eine veränderte Lichtbrechung zu vermeiden. Zur visuellen und instrumentellen Farbmessung und der in dieser Studie angewandten Methode wird auf die Kapitel 2.3. und 4.2.2. verwiesen.

Die Knoop-Härte-Messung wurde mit Hilfe der Härtemessmaschine (Buehler High Quality Hardness Tester, Buehler, Düsseldorf, Deutschland) durchgeführt. In-vitro-Untersuchungen zur Härteveränderung während eines Bleichverfahrens zeigen in der Literatur unterschiedliche Ergebnisse (Attin et al. 2009, Basting et al. 2003, Justino et al. 2004). Dies kann auf verschiedene Faktoren zurückgeführt werden, wie z.B. unterschiedliche Studiendesigns, verschiedene Bleichmittel, pH-Werte und Konzentrationen der Bleichmittel, Lagerungsmedium/künstlicher Speichel.

In der vorliegenden Studie wurden Trägerschienen zur Fixierung der Proben im Mund der Probanden verwendet. Andere Möglichkeiten zur Fixation stellen Retainer oder die direkte Fixation an den Zähnen der Probanden dar. In einer In-situ-Studie zur Messung des Effektes von 10% Carbamidperoxid auf die Mikrohärtigkeit von gesundem und demineralisiertem Schmelz und Dentin wurden die Proben direkt auf

---

die Labialseite der ersten Molaren und zweiten Prämolaren im Oberkiefer der Probanden fixiert (Basting et al. 2001). Auch in anderen Studien wurden die Proben direkt auf der Zahnoberfläche befestigt (Rodrigues et al. 2005, Soldani et al. 2010). Durch die Fixation der Proben mittels einer Trägerschiene wurden die Härte- und Farb-Messungen in der vorliegenden Studie wesentlich vereinfacht, da man die Proben problemlos herausnehmen und wieder einsetzen konnte. Ausserdem wurde durch das Schienensystem verhindert, dass die eigenen Zähne der Probanden in Kontakt mit dem Bleichgel kamen.

Ein möglicher Schwachpunkt des Studiendesigns war die Aufbewahrung der Proben zwischen den einzelnen Bleichzyklen. Nach dem intraoral durchgeführten Bleichen wurden die Proben ausserhalb des Mundes in feuchten Zellstofftüchern eingewickelt und in Plastikbehältern verschlossen aufbewahrt. Die Proben blieben feucht und wurden vor Farbveränderungen durch Dehydratation geschützt. Die Remineralisationsvorgänge durch den Speichel zwischen den einzelnen Bleichzyklen wurden somit jedoch nicht simuliert. Es muss allerdings festgehalten werden, dass die Studie darauf abzielte, mögliche Unterschiede im Bleichverhalten von humanen und bovinen Zahnhartsubstanzen festzustellen, so dass ein aggressives Bleichverfahren (worst-case-scenario) gewählt wurde und potenzielle remineralisierende Eigenschaften des Speichels deshalb nicht berücksichtigt wurden. Als Remineralisationslösung kann neben humanem Speichel auch künstlicher Speichel verwendet werden, der in seiner Mineral-Zusammensetzung dem natürlichen Speichel sehr ähnlich ist (Klimek et al. 1982, Vissink et al. 1985). In einer Studie von Basting et al. (2003) wurden verschieden konzentrierte Carbamidperoxid-Präparate auf ihren Einfluss auf die Schmelzhärte untersucht. Die Abnahme der Härte durch das Bleichmittel konnte durch kalzium- und phosphathaltige

---

Remineralisationslösungen (künstlicher Speichel) reduziert werden. Die Ausgangswerte wurden jedoch bis 14 Tage nach dem letzten Bleichzyklus in der Regel nicht wieder erreicht. Es wird jedoch angenommen, dass durch ein längeres Einlegen der Proben in künstlichem Speichel die Basiswerte der Härte wieder erreicht werden können. In der Studie von Justino et al. (2004) wurde die Schmelzhärteveränderung von humanen Proben nach Bleichen mit 10%-igem Carbamidperoxid in situ und in vitro untersucht und verglichen. Nach dem Bleichen wurden die Proben in vitro in destilliertem Wasser gelagert, während die verbleibenden Proben intraoral getragen wurden. Alle Proben der In-vitro-Gruppe und der In-situ-Gruppe wiesen vor dem Beginn des Bleichvorganges ähnliche Härtewerte auf. Die Proben der In-situ-Gruppe zeigten nach Versuchsende keine signifikant unterschiedliche Mikrohärtigkeit im Vergleich zu den Ausgangswerten, während die Proben der In-vitro-Gruppe eine deutliche Härtereduktion aufwiesen. Die Mikrohärtigkeit der In-situ-Gruppe war nach dem Bleichen signifikant grösser als bei der In-vitro-Gruppe, woraus geschlossen wurde, dass der natürliche Speichel einen remineralisierenden Effekt auf die gebleichten Schmelzproben hat und die Mikrohärtigkeit beeinflussen kann (Justino et al. 2004). Attin et al. (2009) stellten in einer Übersichtsarbeit zum Einfluss des Studiendesigns auf Mikrohärtigkeitsveränderungen durch Bleichen fest, dass 51% der verfügbaren Studien eine Reduktion der Schmelzhärte festgestellt haben, während 49% den Effekt nicht zeigen konnten. Wurden die Proben nach der Bleichtherapie erst in humanem oder künstlichem Speichel eingelegt bevor man Messungen durchführte, wurde nur noch bei 29% eine Schmelzhärtereduktion festgestellt. Die Zeit, welche die Proben im humanen beziehungsweise künstlichen Speichel bis zur Messung nach der Bleichtherapie gelagert wurden, variiert zwischen den Studien von 1 bis zu 42 Tagen. Zwischen den

---

Bleichzyklen wurden die Proben in 22 Studien in künstlichem Speichel gelagert, in 16 Studien in humanem Speichel, und in 16 Studien wurden die Proben in einer nicht remineralisierenden Flüssigkeit gelagert. Diejenigen Studien, welche die intraorale Situation am ähnlichsten simulierten, hatten ein kleineres Risiko für Mikrohärtereduktion (Attin et al. 2009). Dies lässt Rückschlüsse auf eine gute Remineralisation durch natürlichen Speichel zu und erklärt möglicherweise, warum in der vorliegenden Studie in allen Gruppen eine Reduktion der Mikrohärte festgestellt werden konnte.

---

## 6.2. Diskussion der Ergebnisse

Die Studie zeigte, dass die Farb- und Härteveränderung von bovinen und humanen Proben – trotz unterschiedlicher Basisfarbe und –härte – vergleichbar ist.

Bovine Proben sind gut erhältlich, es können mehrere Proben aus dem gleichen Zahn gewonnen werden, und der Aufbau ist chemisch, biologisch und physikalisch sehr ähnlich zum menschlichen Zahn (Esser et al. 1998). Die chemische Zusammensetzung von Kalzium, Phosphor und Magnesium der bovinen Zahnhartsubstanz entspricht prozentual fast derjenigen der humanen Zahnhartsubstanz (Esser et al. 1998). Die Dichte des bovinen Schmelzes ist um ca. 35% grösser als beim humanen Schmelz. Dies kann mit der erhöhten Biegefestigkeit der bovinen Zahnhartsubstanz in Verbindung gebracht werden. Die Wärmekapazität und der thermische Ausdehnungskoeffizient der bovinen Zahnhartsubstanzen sind auch der humanen Zahnhartsubstanz sehr ähnlich (Esser et al. 1998). Unterschiede bestehen in den Schmelzkristalliten, welche bei den bovinen Zähnen dicker sind (Arends und Jongebloed 1978). Die Prismenanordnung ist ebenfalls unterschiedlich, und der interprismatische Raum fällt bei den bovinen Zähnen weiter aus. Diese Beobachtung wird u.a. auch als Grund für die geringere Mikrohärtigkeit des bovinen Schmelzes angenommen (Edmunds et al. 1988, Reeh et al. 1995).

In der vorliegenden Studie waren die bovinen Schmelzproben heller als die humanen Proben. Kwon et al. (2002) diskutieren als Gründe für die hellere Farbe der bovinen Proben die unterschiedliche Ernährung und das normalerweise jüngere Alter der Rinder bei der Zahngewinnung.

Das Bleichverfahren führte in der vorliegenden Studie sowohl bei den humanen wie auch bei den bovinen Proben zu einer signifikanten Farbänderung ( $\Delta E$ ) um 4 - 5

---

Stufen verglichen zur Basismessung, wobei sich die Farbänderung der bovinen und humanen Proben allerdings nicht unterschied. Die Farbänderung von 4 – 5 Farbeinheiten ( $\Delta E$ ) der humanen und bovinen Proben dieser Studie stimmt mit verschiedenen anderen Studien überein, in welchen bei Bleichzyklen von 5 - 14 Tagen eine Farbänderungen von  $\Delta E$  5 - 10 festgestellt werden konnten (Auschill et al. 2005, Bizhang et al. 2009, Shahidi et al. 2005). Ab  $\Delta E = 1$  ist ein Farbunterschied auch für das ungeübte Auge erkennbar (Ruyter et al. 1987). In dieser Studie war die Gesamtfarbveränderung von Bedeutung, es wurden jedoch auch die einzelnen Farbkoordinaten  $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$  und  $\Delta b^*$  beurteilt. In der vorliegenden Studie lagen die  $\Delta L^*$ -Werte der bovinen Proben bei  $4.1 \pm 1.3$  Einheiten und die der humanen Proben bei  $3.5 \pm 1.7$  Einheiten. Vergleichbare Werte wurden in einer In-situ-Studie von Bizhang et al. (2009) gemessen. In einer Gruppe wurden humane Frontzähne mit 10%-igem Carbamidperoxid (Illuminé® home) vierzehnmal jeweils für acht Stunden gebleicht. Der mittlere  $\Delta L^*$ -Wert nach der vierzehntägigen Behandlung lag bei  $3.97 \pm 2.14$  Einheiten. In der Gesamtfarbveränderung ( $\Delta E$ ) wurde ein Wert von  $6.57 \pm 2.13$  erreicht (Bizhang et al. 2009). In einer Studie von Shahidi et al. (2005) wurden Bleichstreifen mit 6% und 10% Wasserstoffperoxid für vierzehn Tage jeweils zweimal täglich 30 min in situ getragen. Nach vierzehn Tagen betrug der mittlere  $\Delta L^*$ -Wert für das 6%-ige  $H_2O_2$  2.35 und für das 10%-ige  $H_2O_2$  3.03 (Shahidi et al. 2005).

Die vergleichbare Farbveränderung der humanen und bovinen Proben wird durch Ergebnisse einer Studie von Attia et al. (2009) bestätigt, in der gezeigt wurde, dass die Farbänderung von bovinen und humanen Proben in einem 21-tägigen Bleichversuch ähnlich war. Die Proben wurden mit einer Kaffeelösung artifiziell verfärbt und anschliessend gebleicht, wobei sich die Farbänderung der Proben direkt

---

nach Abschluss der Bleichtherapie sowie 15 und 30 Tage später nicht signifikant unterschieden.

In der vorliegenden Studie betrug die mittlere Knoop-Härte der menschlichen Schmelzproben vor dem Bleichen  $337 \pm 29$  KHN und die der bovinen Schmelzproben  $306 \pm 29$  KHN. Diese Ergebnisse stimmen mit den Werten der Literatur überein (Hellwig et al. 2007, Reeh et al. 1995). Die mittlere Knoop-Härte bei humanen Zähnen beträgt an der Schmelzoberfläche durchschnittlich 390 KHN und an der Schmelz-Dentin-Grenze 250 KHN (Hellwig et al 2007). In einer Studie von Reeh et al. (1995) wurden für bovinen Schmelz  $248 \pm 53$  KHN und für humanen Schmelz  $317 \pm 42$  KHN gemessen. Fonseca et al. (2008) unterteilten bovine Zähne von 20 - 48 Monate alten Rindern in 4 verschiedene Altersgruppen und verglichen die Mikrohärtigkeit mit Zähnen von 20 – 30 jährigen Menschen. Der Schmelz von 20 - 30 Monate alten Rindern wies die geringste Knoop-Härte auf. Die Gruppe mit den 38 – 48 Monate alten Rindern war den humanen Zähnen bezüglich der Schmelz-Härte am ähnlichsten. Die Härte des Dentins war in allen Gruppen ähnlich (Fonseca et al. 2008). Bezüglich der Röntgengedichte entsprechen die Werte des bovinen Schmelzes denjenigen des humanen Schmelzes (Fonseca et al. 2004).

Die Härte nimmt in der vorliegenden Studie bei humanen und bovinen Proben über die Zeit statistisch signifikant ab, wobei die Härteveränderung der humanen und bovinen Proben allerdings nicht signifikant unterschiedlich war.

Das Ausmass der Härtereduktion kann einerseits durch das Studiendesign beeinflusst werden (siehe 6.1). Andererseits wird die durch das Bleichen bedingte Härtereduktion in einigen Studien auch auf die oberflächliche Demineralisation durch saure peroxidhaltige Bleichmittel zurückgeführt. In einer Studie von Sun et al. (2011) wurden neben der Härte- und Farbmessung auch Messungen zu Veränderungen der

---

chemischen Struktur, den mechanischen Eigenschaften und der Oberflächenmorphologie des humanen Schmelzes vor und nach dem Bleichen mit saurem und neutralem Wasserstoffperoxid gemessen. Sowohl das saure, wie auch das neutrale 30%-ige Wasserstoffperoxid führte zu einer statistisch signifikanten Aufhellung, jedoch nur das saure Wasserstoffperoxid führte gleichzeitig zu einer Mikrohärtereduktion, einer Abnahme des Karbonat/Mineral-Verhältnisses und einer irregulären und rauhen Schmelzoberfläche.

Obwohl in der vorliegenden Studie keine signifikanten Unterschiede in der Farbveränderung von bovinen und humanen Proben beobachtet wurde, können anatomische Unterschiede in der Schmelzdicke möglicherweise das Ergebnis beeinflussen. In einer Untersuchung von Camargo et al. (2007) wurde das Eindringen von 38%-igem Wasserstoffperoxid in die Pulpakammer beim Bleichen von humanen und bovinen Proben verglichen. Durch die bovinen Zähne drang weniger Peroxid in die Pulpakammer ein, als durch die humanen Zähne. Das Eindringen wird sowohl durch die Schmelz- und Dentindicke der Zähne, als auch durch die Konzentration des verwendeten Bleichmittels bestimmt. Da die Schmelz- und Dentindicke der Proben in der Studie von Camargo et al. (2007) standardisiert und die gleiche Konzentration des Bleichmittels verwendet wurde, wurden strukturelle Unterschiede der Zahnhartsubstanz als Ursache für die unterschiedliche Aufhellung von bovinen und humanen Proben diskutiert (Bistey et al. 2007, Dudea et al. 2009, Ito et Momoi 2011, Park et al. 2004, Sun et al. 2011, Ushigome et al. 2009 und Vasconcelos et al. 2012). In der vorliegenden Studie wurden die Dicken der Schmelz- und Dentinschicht nicht standardisiert, somit kann nicht abschliessend beurteilt werden, inwieweit die Durchlässigkeit der Zahnhartsubstanz die Farbänderung möglicherweise beeinflusst hat. Um unterschiedliche

---



Strukturveränderungen durch Bleichmittel bei humanen und bovinen Proben im direkten Vergleich nachzuweisen, wären weitere Studien notwendig.

Aus den Ergebnissen der vorliegenden Studie lässt sich ableiten, dass boviner Schmelz in In-situ-Studien zum Einfluss eines Bleichmittels auf die Härte- und Farbänderung von Zähnen als Ersatz für humanen Schmelz verwendet werden kann.

---

### **6.3. Schlussfolgerung**

In der vorliegenden Studie konnte aufgezeigt werden, dass die durch Bleichen mit 10% Carbamidperoxid-Gel hervorgerufene Härte- und Farbänderung von bovinen und humanen Schmelzproben nicht signifikant unterschiedlich ist, obwohl humaner und boviner Schmelz in Ihrer Basishärte und –farbe leicht differenzieren. Aus den Ergebnissen dieser Studie lässt sich ableiten, dass boviner Schmelz in In-situ-Studien zum Einfluss eines Bleichmittels auf die Härte- und Farbänderung von Zähnen als Ersatz für humanen Schmelz verwendet werden kann.

---

## 7. Literaturverzeichnis

Anusavice KJ: Phillips' Science of dental Materials. Eleventh edition; Saunders, Elsevier Science, Missouri 2003

Araujo EM, Baratieri LN, Vieira LC, Ritter AV: In situ effect of 10% carbamide peroxide on microhardness of human enamel: function of time. J Esthet Restor Dent 2003, 15: 166 - 173

Arends J, Jongebloed WL: Crystallite dimensions of enamel. J Biol Buccale 1978, 6: 161 - 171

Arends J, Jongebloed WL: Ultrastructural studies of synthetic apatite crystals. J Dent Res 1979, 58: 837 - 843

Arends J, Schuthof J, Jongebloed WL: Microhardness indentations on artificial white spot lesions. Caries Res 1997, 13: 290 - 297

Asselborn W, Jäckel M, Risch KT: Chemie heute. 6. Auflage; Schroedel Verlag GmbH, Hannover 1998

Attia ML, Aquiaie FH, Mathias P, Ambrosano GM, Fontes CM, Liporoni PC : The effect of coffee solution on tooth color during home bleaching applications. Am J Dent 2009, 22: 175 - 179

Attin T: Sicherheit und Anwendung von Bleichtherapien mit Carbamidperoxid. Dtsch Zahnärztl Z 1998, 53: 11 – 16

Attin T, Manolakis A, Buchalla W, Hannig C: Influence of tea on intrinsic colour of previously bleached enamel. J Oral Rehabil 2003, 30: 488 - 494

---

Attin T, Muller T, Patyk A, Lennon AM: Influence of different bleaching systems on fracture toughness and hardness of enamel. *Oper Dent* 2004, 29: 188 - 195

Attin T: Farbkorrekturen durch Bleichverfahren. *Zahnmed up2date* 2009, 3: 447 - 466

Attin T: Problems in bleaching of endodontically treated teeth. In: Hülsmann M, Schäfer E: Problems in endodontics. Berlin 2009, 515 - 530

Attin T: Die Aufhellung verfärbter, avitaler Zähne mit der "Walking-bleach-Technik". *Dtsch Zahnärztl Z* 2001, 56: 78 - 89

Attin T, Schmidlin PR, Wegehaupt F, Wiegand A: Influence of study design on the impact of bleaching agents on dental enamel microhardness: a review. *Dent Mater* 2009, 25: 143 - 157

Attin T, Wiegand A, Schmidlin PR: Fragen und Antworten zur externen Aufhellungstherapie von Zähnen. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 2008, 118: 983 - 987

Auschill TM, Hellwig E, Schmidale S, Sculean A, Arweiler NB: Efficacy, side-effects and patients acceptance of different bleaching techniques (OTC, in-office, at-home). *Oper Dent* 2005, 30: 156 - 163

Barkhordar RA, Kempler D, Plesh O: Effect of nonvital tooth bleaching on microleakage of resin composite restorations. *Quintessence int* 1997, 28: 341 - 344

Barthel CR, Strobach R, Briedigkiet H, Gobel UB, Roulet JF: Leakage in roots coronally sealed with different temporary fillings. *J Endod* 1999, 25: 731 - 734

---

Basting RT, Rodrigues Júnior AL, Serra MC: The effect of 10% carbamide peroxide bleaching material on microhardness of sound and demineralized enamel and dentin in situ. *Oper Dent* 2001, 26: 531 - 539

Basting RT, Rodrigues AL, Serra MC: The effect of seven carbamide peroxide bleaching agents on enamel microhardness over time. *J Am Dent Assoc* 2003, 134: 1335 - 1342

Basting RT, Rodrigues AL, Serra MC: The effect of 10% carbamide peroxide, carbopol and; or glycerin on enamel and dentin microhardness. *Oper Dent* 2005, 30: 608 – 616

Bizhang M, Chun YH, Damerau K, Singh P, Raab WH, Zimmer S: Comparative clinical study of the effectiveness of three different bleaching methods. *Oper Dent* 2009, 34: 635 – 641

Borges B, Borges J, de Melo C, Pinheiro I, Santos AD, Braz R, Montes M: Efficacy of a Novel At-Home Bleaching Technique With Carbamide Peroxides Modified by CPP-ACP and Its Effect on the Microhardness of Bleached Enamel. *Oper Dent* 2011, 36: 521 - 528

Brudevold F, Aasenden R, Bakhos Y: A preliminar study of posteruptive maturation of teeth in situ. *Caries Res* 1982, 16: 243

Butler WT: Dentin Collagen: Chemical structure and role in mineralization. In: Linde A: *Dentin and Dentinogenesis*, vol. II.; CRC Press, Boca Raton 1984, 37

Bystey T, Nagy IP, Simó A, Hegedus C: In vitro FT-IR study of the effects of hydrogen peroxide on superficial tooth enamel. *J Dent* 2007, 35: 325 - 330

---

Camargo SE, Valera MC, Camargo CH, Gasparoto Mancini MN, Menezes MM: Penetration of 38% hydrogen peroxide into the pulp chamber in bovine and human teeth submitted to office bleach technique. J Endod 2007, 33: 1074 - 1077

Chen HP, Chang CH, Liu JK, Chuang SF, Yang JY: Effect of fluoride containing bleaching agents on enamel surface properties. J Dent 2008, 36: 718 - 725

Darvell BW: Materials Science for Dentistry. Ninth edition; Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC, 2009

Davidson CL, Boom G, Arends J: Calcium distribution in human and bovine surface enamel. Caries Res 1973, 7: 349 - 359

Delfino CS, Chinelatti MA, Carrasco- Guerisoli LD, Batista AR, Fröner IC, Palma-Dibb Rg: Effectiveness of home bleaching agents in discolored teeth and influence on enamel microhardness. J Appl Oral Sci 2009, 17: 284 - 288

De Oliveira LD, Carvalho CA, Hilgert E, Bondioli IR, De Araújo MA, Valera MC: Sealing evaluation of the cervical base in intracoronar bleaching. Dent Traumatol 2003, 19: 309 - 313

DMK; DPK: Formeln und Tafeln, Mathematik-Physik. 7. Auflage; Orell Füssli Verlag, Zürich 1997

Donly KJ, Segura A, Henson T, Barker ML, Gerlach RW: Randomized controlled trial of professional at-home tooth whitening in teenagers. Gen Dent 2007, 55: 669 – 674

Dudea D, Florea A, Miha C, Câmpeanu R, Nicola C, Benga GH : The use of scanning electron microscopy in evaluating the effect of a bleaching agent on the enamel surface. Rom J Morph Embr 2009, 50 : 435 - 440

---

Ebner Vv: Über die Entwicklung der leimgebenden Fibrillen im Zahnbein. Anat. Anz. 1906, 29: 137 - 138

Edmunds DH, Whittaker DK, Green RM: Suitability of human, bovine, equine and bovine tooth enamel for studies of artificial bacterial carious lesions. Caries Res 1988, 22: 327 - 336

Esser M, Tinschert J, Marx R: Materialkennwerte der Zahnhartsubstanz des Rindes im Vergleich zur humanen Zahnhartsubstanz. Dtsch Zahnärztl Z 1998, 53: 713 - 717

Feinman RA, Madray G, Yarborough D: Chemical, optical, and physiologic mechanisms of bleaching products: a review. Pract Periodontics Aesthet Dent 1991, 3: 32 - 36

Fincham AG, Belcourt AB, Lyaruu DM, Termine JD: Comparative protein biochemistry of developing dental enamel matrix from five mammalian species. Calcif Tissue Int 1982, 34: 182 - 189

Fonseca RB, Haiter-Neto F, Carlo HL, Soares CJ, Sinhoreti MA, Puppim-Rontani RM, Correr-Sobrinho L: Radiodensity and hardness of enamel and dentin of human and bovine teeth, varying bovine teeth age. Arch Oral Biol 2008, 53: 1023 - 1029

Fonseca RB, Haiter-Neto F, Fernandes-Neto AJ, Barbosa GA, Soares CJ: Radiodensity of enamel and dentin of human, bovine and swine teeth. Arch Oral Biol 2004, 49: 919 – 922

Gomes MN, Francci C, Medeiros IS, De Godoy Froes Salgado NR, Riehl H, Marasca JM, Muench A: Effect of light irradiation on tooth whitening: enamel microhardness and color change. J Esthet Restor Dent 2009, 21: 387 - 394

---

Gustavson G: Age determination on teeth. J Amer Dent Ass 1950, 41: 45

Hannig C, Lindner D, Attin T: Efficacy and tolerability of two home bleaching systems having different peroxide delivery. Clin Oral Investig 2007, 11: 321 - 329

Haywood VB: Bleaching of vital and nonvital teeth. Curr Opin Dent 1992, 2: 142 - 149

Haywood VB: Commonly asked questions about nightguard vital bleaching. J Indiana Dent Assoc 1993, 72: 28 - 33

Haywood V: Nightguard vital bleaching: current concepts and research. J Am Dent Assoc 1997, 128: 19 - 25

Haywood VB, Houck VM., Heymann HO: Nightguard vital bleaching: Effects of various solutions on enamel surface texture and color. Quintessence int 1991, 22: 775 - 784

Heithersay GS: Invasive cervical resorption following trauma. Aust Endod J 1999, 25: 79 - 85

Heithersay GS: Invasive cervical resorption: analysis of potential predisposing factors. Quintessence int 1999, 30: 83 - 95

Hellwig E, Klimek J, Attin T: Einführung in die Zahnerhaltung. 4. Auflage; Urban und Fischer, München 2007, 3 - 10

Höhling HJ: Die Bauelemente von Zahnschmelz und Dentin aus morphologischer, chemischer und struktureller Sicht. Hanser, München 1966

---



Horn F, Lindenmeier G, Moc C, Grillhösl C, Berghold S, Schneider N, Münster B: Biochemie des Menschen. 2. Auflage; Georg Thieme Verlag, Stuttgart 2003, 475 - 511

Hosoya N, Cox CF, Arai T, Nakamura J: The walking bleach procedure: an in vitro study to measure microleakage of five temporary sealing agents. J Endod 2000, 26: 716 - 718

Hunter J: The Natural History of the human teeth: Explaining their structure, use, formation, growth, and diseases. Johnson, London 1771

Ishikawa-Nagai S, Terui T, Ishibashi K, Weber HP, Ferguson M: Comparison of effectiveness of two 10% carbamide peroxide tooth-bleaching systems using spectrophotometric measurements. J Esthet Restor Dent 2004, 16: 368 – 375

Ito Y, Momoi Y: Bleaching using 30% hydrogen peroxide and sodium hydrogen carbonate. Dent Mat 2011, 30: 193 - 198

Joiner A, Philpotts CJ, Ashcroft AT, Laucella M, Salvaderi A: In vitro cleaning, abrasion and fluoride efficacy of a new silica based whitening toothpaste containing blue covarine. J Dent 2008, 36 Suppl 1: 32 – 37

Justino LM, Tames DR, Demarco FF: In situ and in vitro effects of bleaching with carbamide peroxide on human enamel. Oper Dent 2004, 29: 219 - 225

Kielbassa AM, Wrbas KT: Extrinsische und intrinsische Zahnverfärbungen. Teil 1: Ursachen. Zahnärztl Welt 2000, 109: 177 - 183

---

Klimek J, Hellwig E, Ahrens G: Der Einfluss von Plaque auf die Fluorstabilität im Schmelz nach Applikation von Aminfluorid im künstlichen Mund. Dtsch Zahnärztl Z 1982, 37: 836 - 840

Knösel M, Attin R, Becker K, Attin T: A randomized CIE-lab evaluation of external bleaching therapy effects on fluorotic enamel stains. Quintessence int 2008, 39: 391 - 399

Konica Minolta: Exakte Farbkommunikation. Vom Farbgefühl bis zur objektiven Messung. Konica Minolta Sensing, Inc. 2003

Koppenol WH: The Haber-Weiss cycle- 70 years later. Redox Report 2001, 6: 229 – 234

Kwon YH, Huo MS, Kim KH, Kim SK, Kim YJ: Effects of hydrogen peroxide on the light reflectance and morphology of bovine enamel. J Oral Rehabil 2002, 29 : 473 - 477

Lenhard M.: Assessing tooth color change after repeated bleaching in vitro with a 10 percent carbamide peroxide gel. J Am Dent Assoc 1996, 127: 16, 18 - 24

Leonard RH, Sharma A, Haywood VB: Use of different concentrations of carbamide peroxide for bleaching teeth: an in vitro study. Quintessence int 1998, 29 : 503 - 507

Leonard RH, Bentley C, Eagle JC, Garland GE, Knight MC, Phillips C: Nightguard vital bleaching: a long-term study on efficacy, shade retention, side effects, and patients perception. J Esthet Restor Dent 2001, 13: 357 – 369

---

Magalhães JG, Marimoto AR, Torres CR, Pagani C, Teixeira SC, Barcellos DC : Microhardness change of enamel due to bleaching with in-office bleaching gels of different acidity. *Acta Odontol Scand* 2012, 70: 122 - 126

Massler M, Schour I: The appositional life span of the enamel and dentine-forming cells. I. Human deciduous teeth and first permanent molars. *J Dent Res* 1946, 25: 145

Matis BA, Cochran MA, Eckert G, Carlson TJ: The efficacy and safety of a 10% carbamide peroxide bleaching gel. *Quintessence Int* 1998, 29: 555 - 563

Matis BA, Gaião U, Blackman D, Schultz FA, Eckert GJ: In vivo degradation of bleaching gel used in whitening teeth. *J Am Dent Assoc* 1999, 130: 227 - 235

Matis BA: Degradation of gel in tray whitening. *Compend Contin Educ Dent Suppl* 2000, 25 - 31

Matis BA, Yousef M, Cochran MA, Eckert GJ: Degradation of bleaching gels in vivo as a function of tray design and carbamide peroxide concentration. *Oper Dent* 2002, 27: 12 - 18

Matis BA, Cochran MA, Franco M, Al- Ammar W, Eckert GJ, Stropes M: Eight in-office tooth whitening systems evaluated in vivo: a pilot study. *Oper Dent* 2007, 32: 322 – 327

Mc Cracken MS, Haywood VB: Demineralization effects of 10 percent carbamide peroxide. *J Dent* 1996, 24: 395 - 398

---

Meireles SS, Santos IS, Bona AD, Demarco FF: A double-blind randomized clinical trial of two carbamide peroxide tooth bleaching agents: 2-year follow-up. J Dent 2010, 38: 956 - 963

Miller WA, Eick JD, Neiders ME: Inorganic components of the peritubular dentine in young human permanent teeth. Caries Res 1971, 5: 264

Mortimer ChE, Müller U: Das Basiswissen der Chemie. 8. Auflage; Thieme Verlag, Stuttgart 2003, 25: 403 – 419

Oltu U, Gürgan S: Effects of three concentrations of carbamide peroxide on the structure of enamel. J Oral Rehabil 2000, 27: 332 - 340

Owen R: Odontography or Treatise on the Comparative Anatomy of the Teeth, their Physiological Relations, Mode of Development and Microscopic Structure in the vertebrate Animals. Baillière, London 1840 – 45

Park HJ, Kwon TY, Nam SH, Kim HJ, Kim KH, Kim YJ: Changes in Bovine Enamel after Treatment with a 30% Hydrogen Peroxide Bleaching Agent. Dent Mat 2004, 23: 517 - 521

Parnian AO, Elmira JN, Siavash SO, Najmeh M: Effect of 10% Sodium Ascorbate on Bleached Bovine Enamel Surface Morphology and Microhardness. Open Dent J 2010, 4: 207 - 210

Reeh ES, Douglas WH, Levine MJ: Lubrication of human and bovine enamel compared in an artificial mouth. Arch Oral Biol 1995, 40: 1063 - 1072

---

Retzius A: Bemerkungen über den inneren Bau der Zähne mit besonderer Rücksicht auf den im Zahn vorkommenden Röhrenbau. Arch f Anat, Phys u wiss Med 1837, S: 486

Rodríguez JA, Basting RT, Serra MC, Rodríguez Júnior AL: Effects of 10% carbamide peroxide bleaching materials on enamel microhardness. Am J Dent 2001, 14: 67 - 71

Rodrigues JA, Marchi GM, Ambrosano GM, Heymann HO, Pimenta LA: Microhardness evaluation of in situ vital bleaching on human dental enamel using a novel study design. Dent Mater 2005, 21: 1059 - 1067

Rotstein I, Mor C, Friedman S: Prognosis of intracoronal bleaching with sodium perborate preparations in vitro-1-year study. J Endod 1993, 19: 10 - 12

Rotstein I, Zalkind M, Mor C, Tarabeah A, Friedman S: In vitro efficacy of sodium perborate preparations used for intracoronal bleaching of discolored non-vital teeth. Endod Dent Traumatol 1991, 7: 177 – 180

Rotstein I, Dankner E, Goldman A, Heling I, Stabholz A, Zalkind M: Histochemical analysis of dental hard tissues following bleaching. J Endod 1996, 22: 23 - 25

Ruyter IE, Nilner K, Moller B: Color stability of dental composite resin materials for crown and bridge veneers. Dent Mater 1987, 3: 246 - 251

Schemel W, Hummel K, Krekeler G: Härteprüfungen an Schmelz, Dentin und Zement rezenter menschlicher Zähne. Schweiz Monatsschr Zahnmed 1984, 10: 1029

Schmidt RF, Thews G, Lang F: Physiologie des Menschen. 28.Auflage; Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York 2000

---

Scholtanus JD, Ozcan M, Huysmans MC: Penetration of amalgam constituents into dentine. J Dent 2009, 37: 366 - 373

Schroeder HE: Orale Strukturbilogie. 5. Auflage; Thieme Verlag, Stuttgart 2000

Shahidi H, Barker ML, Sagel PA, Gerlach RW: Randomized controlled trial of 10% hydrogen peroxide whitening strips. J Clin Dent 2005, 16: 91 - 95

Smith JJ, Cunnungham CJ, Montgomery S: Cervical canal leakage after internal bleaching. J Endod 1992, 18: 476 - 481

Soldani P, Amaral CM, Rodrigues JA: Microhardness evaluation of in situ vital bleaching and thickening agents on human dental enamel. Int J Periodontics Restorative Dent 2010, 30: 203 - 211

Stokes M, Fairchild MD, Berns RS: Colorimetric quantified visual tolerances for pictorial images, Comparison of Color Images Presented in Different Media, M. Pearson ed., Tech. Assoc. Graphic Arts and Inter-Soc. Color Council 1992, Proc. Vol. 2: 757 - 777

Stuart HA, Klages G: Kurzes Lehrbuch der Physik. 13. Auflage; Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York 1992

Sun L, Liang S, Sa Y, Wang Z, Ma X, Jiang T, Wang Y: Surface alteration of human tooth enamel subjected to acidic and neutral 30% hydrogen peroxide. J Dent 2011, 39: 686 - 692

Tonami K, Takahashi H: Effects of aging on tensile fatigue strength of bovine dentin. Dent Mater 1997, 16: 156 - 169.

---

Torres CR, Wiegand A, Sener B, Attin T: Influence of chemical activation of a 35% hydrogen peroxide bleaching gel on its penetration and efficacy - in vitro study. J Dent 2010, 38: 838 - 846

Travassos AC, Rocha Gomes Torres C, Borges AB, Barcellos DC: In vitro assessment of chemical activation efficiency during in-office dental bleaching. Oper Dent 2010, 35: 287 - 294

Tredwin CJ, Scully C, Bagan-Sebastian JV: Drug-induced disorders of teeth. J Dent Res 2005, 84: 596 - 602

Turssi CB, MessiasDF, Corona SM., Serra MC: Viability of using enamel and dentin from bovine origin as a substitute for human counterparts in an intraoral erosion model. Braz Dent J 2010, 21: 332 - 336

Ushigome T, Takemoto S, Hattori M, Yoshinari M, Kawada Eiji, Oda Y: Influence of peroxide treatment on bovine enamel surface - Cross sectional analysis. Dent Mat J 2009, 28: 315 - 323

Van der Burgt TP, Mullaney TP, Plasschaert AJ: Tooth discoloration induced by endodontic sealers. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1986, 61: 84 - 89

Van Noort R: Introduction to dental Materials. Second edition; Mosby, Elsevier Science Limited, London 2002

Van Waes HJM, Stöckli PW: Farbatlanten der Zahnmedizin 17, Kinderzahnmedizin. Georg Thieme Verlag, Stuttgart 2001, S. 143

Vasconcelos AAM, Cunha AGG, Borges BCD, Vitoriano JO, Alves Júnior C, Machado CT, Dos Santos AJS: Enamel properties after tooth bleaching with

---

hydrogen/carbamide peroxides in association with a CPP-ACP paste. *Acta Odontol Scand* 2012, 70: 337 - 343

Vissink A, Gravenmade EJ, Gelhard TB, Panders AK, Franken MH: Rehardening properties of mucin- or CMC- containing saliva substitutes on softened human enamel. Effects of sorbitol, xylitol and increasing viscosity. *Caries Res* 1985, 19: 212 - 218

Weiger R, Kuhn A, Lost C: In vitro comparison of various types of sodium perborate used for intracoronar bleaching of discolored teeth. *J Endod* 1994, 20: 338 - 341

Wiegand A: Bewertung neuer Applikationsmethoden in der externen Bleichtherapie. *ZM Fortbildungsteil* 1, 2006

Wiegand A, Drebenstedt S, Roos M; Magalhães AC, Attin T: 12-month color stability of enamel, dentine, and enamel-dentine samples after bleaching. *Clin Oral Invest* 2008, 12: 303 - 310

Yui K, Rodriguez JR, Mancini MN, Balducci I, Gonçalves SE: Ex vivo evaluation of the effectiveness of bleaching agents on the shade alteration of blood-stained teeth. *Int Endod J* 2008, 41: 485 - 492

Zeek A, Fischer SC, Grond S, Papastavrou: *Chemie für Mediziner*. 5. Auflage; Urban& Fischer, München Jena 2003

Ziebolz D, Hannig C, Attin T: Influence of a desensitizing agent on efficacy of a paint-on bleaching agent. *Am J Dent* 2008, 21: 77 - 82

Zimmerli B., Jeger F, Lussi A: Bleaching of nonvital teeth: a clinically relevant literature review. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 2010, 120: 306 - 313

---